

TITULACIÓ

ENGINYERIA INDUSTRIAL

ALUMNE

JOAQUIM FONT CANYELLES

ESTUDI SOBRE LA VIABILITAT TÈCNICA D'ÚS DE LA XARXA D'ALTA VELOCITAT FERROVIÀRIA PER AL TRANSPORT DE MERCADERIES

PROJECTE FINAL DE CARRERA

MEMÒRIA



**Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial i Aeronàutica de Terrassa**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

DIRECTOR

FRANCESC ASTALS COMA

CONVOCATÒRIA DE LLIURAMENT

JUNY DEL 2012



RESUM

En el present document es realitza un estudi per determinar la viabilitat de la utilització d'una línia d'alta velocitat ferroviària explotada exclusivament per serveis de viatgers, per a nous serveis de mercaderies. L'estudi es fonamenta en la obtenció dels principis restrictius que les característiques de disseny de les línies d'alta velocitat imposen sobre les circulacions de trens de mercaderies i la conseqüent definició dels criteris per a la determinació de la viabilitat del sistema. Es completa l'estudi amb l'aplicació dels criteris a la línia d'alta velocitat Madrid- Barcelona, operada actualment amb trens de viatgers, i que resulta de gran interès pràctic per trobar-se situada en un corredor de importants fluxos de mercaderies. El tràfic de mercaderies en aquesta línia d'alta velocitat es presentar com una possible alternativa als transports internacional que actualment exigeixen el transbordament de càrrega a la frontera per causa del diferent ample de via espanyol i europeu.

AGRAÏMENTS

Aquest és un projecte que avarca molts camps de l'enginyeria ferroviària i aspectes de la realitat del transport d'aquest país. És indubtable doncs la necessitat de recolzament dels experts de cada àmbit per desenvolupar el treball amb rigor tècnic i fidelitat a la realitat, i és doncs un punt obligat per l'autor deixar constància de l'agraïment a tots els col·laboradors en aquesta tasca.

En primer lloc he de donar les gràcies al meu tutor dr. eng. Francesc Astals, qui em va proposar la temàtica del treball i des de bon principi em concedí la seva confiança per desenvolupar-lo amb llibertat, així com la col·laboració i ajuda en la resolució de les diferents dificultats i dubtes que s'han anat plantejant sempre.

He d'agrair el sr. Ramón Adé, gerent del Barcelyon Express al Port de Barcelona, el sr. Josep Borràs, director de planificació Portuària del Port de Tarragona, i el sr. Ramón Estradera, responsable de formació d'Adif. A tots ells agraeixo la predisposició per rebre'm i l'amabilitat en respondre totes les meves preguntes. Agraeixo molt la implicació i material cedit pel sr. Carles Subirós, responsable de serveis tècnics i innovació de Comsa Emte, per les seva ajuda en les meves qüestions sobre manteniment i conservació de la línia d'alta velocitat Madrid- Barcelona. He d'agrair molt especialment el sr. Joan Cantero, responsable de l'àrea de mercaderies de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya, per tot el seu material cedit i sobretot per la sinceritat i amabilitat durant l'entrevista realitzada, que esdevingué clau per concloure molts dels punts d'aquest document.

Tinc la necessitat de donar les gràcies a la repetida ajuda del professor Jordi Orta, tan pel seu temps dedicat com per la franquesa i receptivitat, a qui dec bona part de la validesa del projecte.

Finalment he d'agrair a tot l'equip d'Alstom Transporte per respondre els dubtes puntuals que sempre se m'han anat plantejant, i molt en concret al Raúl Fuentemilla i al Francesc Ripol, la gentilesa dels quals em va portar a contactar amb experts tan valuosos pel treball. I agraeixo molt particularment la permanent ajuda del Ginés Vázquez, els seus consells i suport incondicional, material cedit, i incessant interès per la temàtica.

ÍNDEX GENERAL

1. OBJECTE DEL PROJECTE.....	1
2. ABAST	3
3. JUSTIFICACIÓ.....	4
4. INTRODUCCIÓ	7
4.1. SITUACIÓ ACTUAL DEL FERROCARRIL	7
4.1.1. Actuacions polítiques per l'afavoriment del transport ferroviari de mercaderies...	8
4.1.2. El desenvolupament de l'alta velocitat	11
4.2. ANTECEDENTS EN EL TRANSPORT DE MERCADERIES EN LÍNIES D'ALTA VELOCITAT	20
4.2.1. Línia mixta d'alta velocitat.....	20
4.2.2. Tipus de trens de mercaderies que operen una línia d'alta velocitat.....	27
5. ESTUDI DE VIABILITAT GENERAL	31
5.1. VARIABLES DE DISSENY D'UNA LÍNIA DE FERROCARRIL D'ALTA VELOCITAT	31
5.1.1. Infraestructura	31
5.1.2. Explotació.....	40
5.1.3. Manteniment	53
5.2. VARIABLES DE DISSENY DEL TRANSPORT DE MERCADERIES	59
5.2.1. Tipologia de transport de mercaderies	59
5.2.2. Agents del transport de mercaderies per ferrocarril.....	61
5.2.3. Material rodant.....	68
5.3. INTERFERÈNCIES	80
5.4. RESTRICCIONS	82
5.4.1. Restriccions que imposa la línia	82
5.4.2. Restriccions de l'explotació de trens de mercaderies.....	94
5.5. CRITERIS DE VIABILITAT	103
5.5.1. Criteris que determinen la operabilitat tècnica.....	103
5.5.2. Criteris que determinen l'afectació sobre el manteniment.....	106
5.5.3. Criteris que caracteritzen l'explotació.....	106
6. ESTUDI DE VIABILITAT PARTICULAR	108
6.1. CARACTERITZACIÓ DE LA LÍNIA D'ALTA VELOCITAT MADRID - BARCELONA.....	108
6.1.1. Caracterització de les variables de disseny	108
6.1.2. Terminals de mercaderies properes a la línia.....	120
6.2. AVALUACIÓ DELS CRITERIS DE VIABILITAT A LA LÍNIA MADRID - BARCELONA	128
6.2.1. Determinació de la operabilitat tècnica.....	128
6.2.2. Determinació de l'afectació sobre el manteniment	129
6.2.3. Caracterització de l'explotació.....	129
6.3. ALTERNATIVES DE VIABILITAT.....	131

6.3.1.	<i>Escenaris possibles</i>	131
6.3.2.	<i>Requeriments de viabilitat</i>	133
6.3.3.	<i>Caracterització dels serveis</i>	141
7.	CONSIDERACIONS D'IMPACTE AMBIENTAL	145
8.	CONCLUSIONS	147
9.	BIBLIOGRAFIA	153

ÍNDEX DE FIGURES

Fig. 1.	Rànquing de mercaderies transportades per ferrocarril per país a la EU-27, en bilions de tones [39].	7
Fig. 2.	Els 10 projectes prioritaris pel 2020 [18].	9
Fig. 3.	Evolució de les velocitats mitjanes entre parades majors a cada país [18].	13
Fig. 4.	Longitud de les xarxes d'alta velocitat nacionals l'any 2011 [19].	14
Fig. 5.	Xarxa ferroviària d'alta velocitat a Espanya [19].	15
Fig. 6.	Línies d'alta velocitat a França [45].	16
Fig. 7.	Mapa de la xarxa Alemanya ICE mostrant les capacitats i velocitats màximes de les seccions [41].	17
Fig. 8.	Mapa de la xarxa italià d'AV/AC (Alta velocitat alta capacitat) [42].	18
Fig. 9.	Estat de la xarxa europea d'alta velocitat l'any 2010 [43].	19
Fig. 10.	Evolució de la xarxa europea d'alta velocitat prevista al 2025 [43].	19
Fig. 11.	Distribució horària amb el número de de trens de viatgers (vermell) i de mercaderies (blau) a la línia d'alta velocitat Hannover- Würzburg l'any 2001, pels dos sentits de marxa [20].	21
Fig. 12.	Mapa de la connexió de mercaderies entre el Port de Barcelona i Perpinyà, on s'aprecien els tres tipus de vies en les línies per on es desenvolupa el recorregut [11].	25
Fig. 13.	Longituds dels punts d'apartat per a trens de mercaderies d'ample UIC entre les terminals del Port de Barcelona i Figueres [11].	26
Fig. 14.	Electrificacions de la connexió Port de Barcelona - frontera francesa. Font:	27
Fig. 15.	Sistemes de comunicació de la connexió Port Barcelona - frontera francesa. Font:	27
Fig. 16.	TGV transformat per al transport de paqueteria [52].	28
Fig. 17.	Futura xarxa EuroCarex pel transport ferroviari de paqueteria a alta velocitat [53].	29
Fig. 18.	Col·locació de material tèxtil sobre la plataforma de via [2].	32
Fig. 19.	Amplis principals de les xarxes nacionals europees [44].	35
Fig. 20.	Electrificació de la xarxa ferroviària principal dels diferents països d'Europa [46].	41
Fig. 21.	Esquem del circuit de via [47].	43
Fig. 22.	Sistemes preexistents de control-comandament a Europa. Font	44
Fig. 23.	Eurobalisa instal·lada en via [48].	46
Fig. 24.	Principi de funcionament del ETCS nivell 1 [48].	46
Fig. 25.	Principi de funcionament del ETCS nivell 2 [48].	47
Fig. 26.	Balanç de capacitat [26].	48
Fig. 27.	Operació de càrrega de carbó a un tren de Coeburn, EUA [49].	62
Fig. 28.	Sistema basculant a Letonia [50].	63
Fig. 29.	Parts comunes en una terminal intermodal ferrocarril/carretera [51].	63
Fig. 30.	Esquema de la locomotora Dièsel-hidràulica Vossloh MAK1700 2BB [55].	71
Fig. 31.	Esquema d'una locomotora Dièsel-elèctrica [56].	71
Fig. 32.	Esquema elèctric del sistema de tracció per un motor de CC [56].	72

Fig. 33. Esquemes elèctrics de l'equip de tracció de d'una locomotora alimentada per una catenària a corrent continu i altern respectivament [56].	72
Fig. 34. Parts d'un pantògraf [58].	73
Fig. 35. Acoblament de ganxo i cargol [59].	74
Fig. 36. Enganxall Alliance [59].	74
Fig. 37. Esquema del bogi de la sèrie 269 de Renfe [57].	76
Fig. 38. Equipament de control-comandament instal·lat a la locomotora interoperable Bombardier 186 [16].	77
Fig. 39. Bogis Y25 i Y31 [61].	78
Fig. 40. Efecte d'inserir trens de diferent velocitat a una línia amb tràfic homogeni [3].	93
Fig. 41. Ordre de magnitud dels esforços verticals generats pels vehicles ferroviaris [1].	96
Fig. 42. Desgast de la via en funció del temps i el tipus de circulació [1].	97
Fig. 43. Futura connexió amb el corredor mediterrani [67].	116
Fig. 44. Situació de les estacions de mercaderies del Corredor d'Henares i connexions amb la xarxa ferroviària. Elaboració pròpia amb Google Earth.	122
Fig. 45. Situació de les estacions de mercaderies de l'àrea de Saragossa i connexions amb la xarxa ferroviària. Elaboració pròpia amb Google Earth.	123
Fig. 46. Situació de les estacions de mercaderies del Camp de Tarragona i connexions amb la xarxa ferroviària. Elaboració pròpia amb Google Earth.	124
Fig. 47. Xarxa de via estreta de FGC i terminals connectades a la línia. Elaboració pròpia amb Google Earth.	126
Fig. 48. Bifurcació proposada entre la branca de mercaderies de Madrid Abroñigal i la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona: pk 4.8.	134
Fig. 49. Bifurcació proposada entre la terminal de Zaragoza Plaza i la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona: pk 294.8.	135
Fig. 50. Projecte del nou accés sud de la línia [62].	136
Fig. 51. Bifurcació proposada entre la terminal Marítima de Zaragoza i la branca d'alta velocitat Saragossa Huesca de la línia Madrid - Barcelona: pk 319 (en branca Huesca).	136
Fig. 52. Intervencions previstes a la línia Reus-Roda [62].	137
Fig. 53. Bifurcació proposada per l'enllaç de la línia Reus - Roda amb la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona: pk 519.4.	138
Fig. 54. Bifurcació proposada per l'enllaç de les estacions del Camp de Tarragona amb la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona: pk 548.3.	138
Fig. 55. Bifurcació proposada per l'enllaç de les estacions del Camp de Tarragona amb la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona: pk 588.7.	139
Fig. 56. Branca d'enllaç proposada per l'accés de la xarxa mètrica amb la línia d'alta velocitat.	140
Fig. 57. Bifurcació proposada al nus de Castellbisbal per la connexió de la línia d'alta velocitat amb la branca exclusiva de mercaderies del Port de Barcelona: pk 594.9.	141

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1. Característiques d'explotació de les línies mixtes d'alta velocitat d'Alemanya i Itàlia [1].	21
Taula 2. Característiques de la línia mixta Barcelona - frontera.	22
Taula 3. Característiques tècniques del tram Figueres-Perpinyà [17].	23
Taula 4. Límit de velocitats a través del túnel del Pertús [17].	23
Taula 5. Característiques de les travesses utilitzades en alta velocitat. Elaboració pròpia a partir de [1] i [32].	34

Taula 6. Característiques dels carrils d'acer estàndard UIC [2].	34
Taula 7. Comparativa dels gàlibs entre dos tipus de línies [30].	36
Taula 8. Radis de corba necessaris en línies projectades per tràfic de viatgers i mixt en funció de les velocitats màximes [3].	37
Taula 9. Peralts recomanats en diferents tipus de línies [30].	38
Taula 10. Pendent màxima recomanada a les especificacions d'interoperabilitat de Renfe [2].	39
Taula 11. Exigències dimensionals en passos superiors i inferiors [30].	40
Taula 12. Seccions dels túnels en línies segons la velocitat comercial [21].	40
Taula 13. Velocitats màximes i intervals entre trens segons el sistema de seguretat [16].	47
Taula 14. Valors límits per la capacitat consumida [26].	49
Taula 15. Ordre de magnitud de la capacitat màxima de la infraestructura [3].	50
Taula 16. Diferència del pes suspès entre trens convencionals i alta velocitat [1].	51
Taula 17. Diferència entre les toleràncies geomètrica d'una línia convencional i una d'alta velocitat, en mil·límetres [30].	54
Taula 18. Coeficients S_v i S_m pel càlcul del tràfic fictici [27].	55
Taula 19. Caracterització del paràmetre K_t sobre el material tractor de passatgers i mercaderies [27].	56
Taula 20. Valors del paràmetre k_m [27].	56
Taula 21. Tràfic fictici [27].	56
Taula 22. Comparativa de les freqüències de control a diferents tipus de línies	57
Taula 23. Vida útil del conjunt via en funció del tràfic [6].	59
Taula 24. Velocitat màxima dels vagons segons el pes per eix [2].	64
Taula 25. Característiques de diferents tipus de bogis per a vagons de mercaderies.	78
Taula 26. Interferències entre els sistemes línia d'alta velocitat i el transport de mercaderies.	80
Taula 27. Anàlisi de la diferència entre el límit de ripat i l'esforç vertical en diverses condicions de circulació i peralt.	84
Taula 28. Anàlisi de la diferència entre el límit de ripat i l'esforç vertical en diverses condicions de circulació i peralt.	86
Taula 29. Longituds i valors màxims de rampa admetent pèrdues de velocitat del 5 i el 10%, amb trens de mercaderies convencionals arrossegats per una locomotora 252 en diferents condicions de càrrega remolcada [4].	87
Taula 30. Longituds i valors màxims de rampa admetent pèrdues de velocitat del 5 i el 10%, amb trens de mercaderies ràpids arrossegats per una locomotora 252 en diferents condicions de càrrega remolcada. Font: elaboració pròpia a partir de [4].	88
Taula 31. Longituds i valors màxims de rampa admetent pèrdues de velocitat del 10%, amb trens de mercaderies convencionals arrossegats per dues locomotores 252 en diferents condicions de càrrega remolcada. Font: elaboració pròpia a partir de [4].	89
Taula 32. Longituds i valors màxims de rampa admetent pèrdues de velocitat del 10%, amb trens de mercaderies ràpids arrossegats per dues locomotores 252 en diferents condicions de càrrega remolcada. Font: elaboració pròpia a partir de [4].	90
Taula 33. Classes de via per la determinació de la desviació estàndard. PITA AV	95
Taula 34. Aplicació de la regla de potència.	97
Taula 35. Càrregues totals (t) sobre la via exercides per les rodes de diferents tipus de vehicles ferroviaris en la circulació en recta [6].	99
Taula 36. Limitació de càrrega per la longitud màxima del tren.	101
Taula 37. Relació entre els criteris i les restriccions.	103
Taula 38. Criteris de longitud de rampa per trens d'una locomotora i velocitat inicial de 100 km/h.	104
Taula 39. Criteris de longitud de rampa per trens d'una locomotora i velocitat inicial de 120 km/h.	104
Taula 40. Criteris de longitud de rampa per trens de dues locomotores a 100 km/h.	105
Taula 41. Criteris de longitud de rampa per trens de dues locomotores a 120 km/h.	105
Taula 42. Característiques generals del la LAV Madrid - Saragossa - Barcelona	108
Taula 43. Traçat del tram Madrid - Guadalajara [62].	109
Taula 44. Traçat del tram Guadalajara - Calatayud [62].	110
Taula 45. Traçat del tram Guadalajara - Calatayud [62].	111



Taula 46. Característiques del tram Saragossa - Lleida [62].....	112
Taula 47. Característiques del tram Saragossa - Lleida [62].....	113
Taula 48. Característiques del tram Saragossa - Lleida [62].....	114
Taula 49. Característiques principals d'explotació de la línia [62].	116
Taula 50. Serveis comercials de viatgers operant la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona.	119
Taula 51. Períodes horaris que estableix Renfe. Font:.....	120
Taula 52. Aplicació dels criteris de rampa als diferents trams de la LAV.	128
Taula 53. Càrrega remolcable màxima per la locomotora S252 [10].	130
Taula 54. Característiques tècniques del vagó <i>Facs</i> que defineix el tipus transport M1 [65].	132
Taula 55. Característiques tècniques del vagó <i>Sgns</i> que defineix el tipus transport M2 [66].	132
Taula 56. Característiques tècniques del vagó <i>Laes</i> que defineix el tipus de transport M3 [65].	133
Taula 57. Característiques del servei S1.....	142
Taula 58. Comparativa dels temps de viatge dels diferents serveis 121 proposats.....	142
Taula 59. Característiques dels serveis S2	143
Taula 60. Comparativa dels temps de viatge dels diferents serveis 222 proposats.....	143
Taula 61. Comparativa dels temps de viatge dels diferents serveis 223 proposats.....	143
Taula 62. Característiques dels serveis S3.	144
Taula 63. Comparació d'emissions en funció del perfil de la línia i el tipus de producte remolcat, per tren de 1200 t de càrrega [8].	145
Taula 64. Estimació de les emissions de CO2 (kg) per diferents tipus material i recorregut, per un transport de 600 t.	146
Taula 65. Diferències d'emissió pels diferents transports proposats.	146

1. OBJECTE DEL PROJECTE

Aquest projecte ha estat assignat per l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial i Aeronàutica de Terrassa (ETSEIAT) com a projecte final de carrera pel departament d'Enginyeria Mecànica.

L'objectiu principal del projecte és la determinació de la viabilitat tècnica de l'explotació d'una línia d'alta velocitat, operada només per trens de viatgers, per al transport de mercaderies.

En el projecte es presenten dues parts ben diferenciades: l'estudi de viabilitat general i l'estudi particular. A la primera part de l'estudi es determinen els criteris per poder avaluar la viabilitat de l'explotació amb trens de mercaderies de qualsevol línia d'alta velocitat ja existent i operada exclusivament amb serveis de viatgers. A la segona part, mitjançant els criteris obtinguts, s'efectua l'estudi de viabilitat d'ús de la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona pel transport de mercaderies.

Els principals punts tractats en el desenvolupament del projecte s'il·lustren a la següent figura:

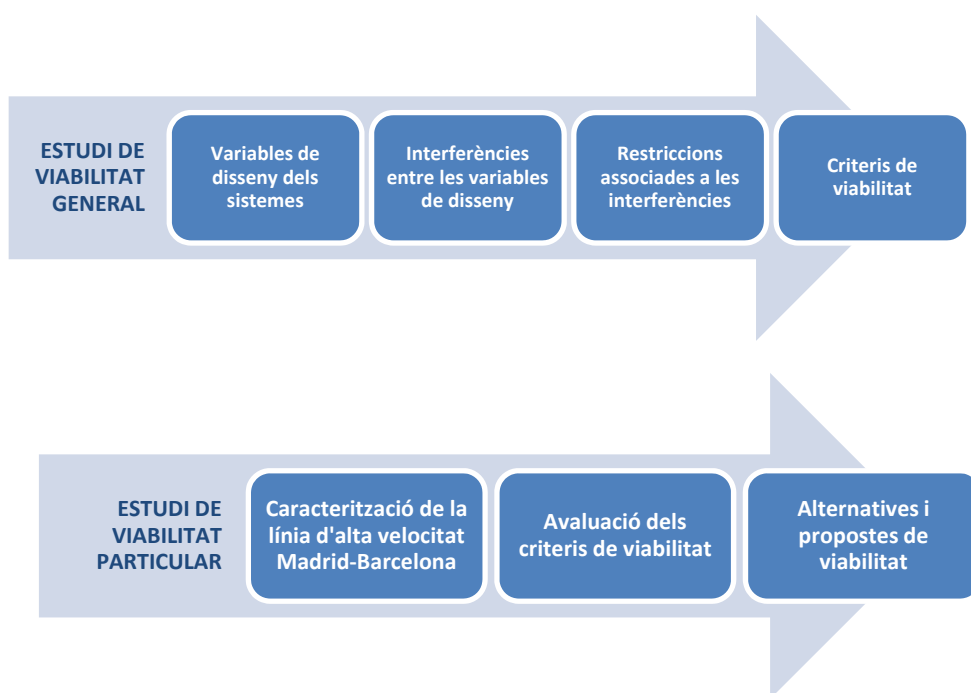


Fig. 1. Estructura del projecte.

Per obtenir els criteris de viabilitat es caracteritzaran dos sistemes d'origen, el sistema línia d'alta velocitat i el sistema transport de mercaderies. Per això primerament s'estudiarà el disseny de les línies d'alta velocitat, se'n descriuran els elements que la formen i el seu funcionament, per tal d'obtenir-ne les variables de disseny. Paral·lelament s'estudiarà el transport de mercaderies per ferrocarril, se n'exposaran les tipologies i agents involucrats, així com els paràmetres i component que configuren el material rodant de mercaderies, per tal d'obtenir-ne també les seves pròpies variables de disseny. Amb els dos sistemes caracteritzats es podran determinar les relacions que es produeixen entre ells, és a dir, les interferències aparegudes a les variables de disseny en fer passar trens de mercaderies per la línia d'alta velocitat. Aquestes relacions es quantificaran amb les restriccions, que es defineixen com les acotacions tecnològiques resultants de les interferències amb les variables de disseny dels dos sistemes. Finalment, això permetrà observar quines d'aquestes restriccions suposen criteri per a la determinació de la viabilitat. Els criteris són les condicions que han de complir (o modificacions que cal efectuar) les variables dels elements que caracteritzen els sistemes per tal que sigui viable la generació del sistema objectiu, és a dir, les condicions perquè els trens de mercaderies puguin circular per una línia d'alta velocitat. L'avaluació dels criteris pot fer viable, limitar o impedir el pas d'un tren de mercaderies per una línia considerada.

Per efectuar la segona part s'estudiarà la viabilitat de l'explotació ferroviària de mercaderies a la línia d'alta velocitat Madrid-Barcelona utilitzant els criteris determinats a la primera part. Per això i seguint el sentit lògic emprat en la primera part, inicialment es caracteritzarà la línia, mitjançant la definició de les seves variables de disseny. A continuació s'analitzaran aquestes variables utilitzant els criteris de viabilitat prèviament obtinguts. Finalment, i per concretar l'anàlisi amb escenaris de transports concrets, es proposaran diverses alternatives a serveis de mercaderies operables a la línia.

2. ABAST

El projecte compren la caracterització tècnica d'una línia d'alta velocitat mitjançant la descripció dels components més importants de infraestructura i explotació; la caracterització tècnica del transport de mercaderies mitjançant la descripció dels paràmetres dels agents del transport i el material rodant. S'efectuarà també la determinació dels criteris de viabilitat tècnica per al transport de mercaderies en una línia d'alta velocitat. S'aplicarà aquesta metodologia al cas particular de la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona, de la qual es determinarà la viabilitat tècnica del transport de mercaderies. Es considerarà l'impacte ambiental d'aquesta proposta.

No és objecte d'aquest projecte l'estudi de la viabilitat econòmica de l'explotació d'una línia d'alta velocitat per al transport de mercaderies. Tampoc correspon al present projecte el disseny del transport de mercaderies en una línia d'alta velocitat.

3. JUSTIFICACIÓ

El transport de mercaderies per ferrocarril es troba actualment en una situació desfavorable. Mentre alguns països com Alemanya semblen apostar pel seu desenvolupament, la tendència general als diferents països d'Europa no sembla millorar amb el pas dels anys. L'elevada capacitat i eficiència d'aquest transport, principis característics que el feren ser el mitjà predominant fins a mitjans del segle XX, estan avui en dia en clar desavantatge enfront de la flexibilitat i rapidesa que ofereix el transport per carretera.

Els efectes d'aquest cert desprestigi del ferrocarril de mercaderies, i en definitiva la forta disminució relativa del seu ús, són una major saturació de les xarxes viàries principals, a causa de la major presència de camions lents de gran tonatge, i l'augment de les emissions contaminants per causa de la seva menor eficiència energètica.

No obstant això, reapareixen en l'actualitat les característiques del transport ferroviari, mostrant-se com una alternativa al deteriorament global del transport, i que cal impulsar des de les administracions. Els principis de seguretat, alliberament viari i reducció de les emissions en el medi ambient són els que han portat a la Unió Europea a defensar el model ferroviari mitjançant la creació d'agències, directives i sobretot, fortes inversions infraestructurals.

Tot i així, en aquest sector, basat en models nacionals d'aïllament exterior, hi ha moltes barreres a superar, i els estats membres segueixen amb lentitud els passos imposats. No sempre resulta possible fer front a les grans inversions que han d'assegurar les connexions ferroviàries per enllaçar els punts de demanda de transport, encara que sigui amb finançament compartit, i especialment en un context de severs ajustos econòmics dels governs com és l'actual.

Per tal de mantenir la tendència a favor del transport de mercaderies per tren, esdevé necessari més que mai centrar els esforços en la millora de la utilització de la infraestructura existent. Si bé les grans connexions ferroviàries convencionals tendeixen a la saturació, hi ha a Europa i concretament a l'Estat Espanyol un seguit de nova xarxa dedicada a l'alta velocitat que acostuma a presentar ocupacions força inferiors a la seva capacitat màxima, fet pel qual es presenten com una alternativa a ser utilitzades també per a trens de mercaderies.

És indubtable que la finalitat principal de les noves línies que es construeixen és la de possibilitar la implantació pràctica de serveis de viatgers d'alta velocitat. La decisió d'analitzar la viabilitat de fer-los coexistir amb trens de mercaderies es deriva, bàsica-

ment, de la existència de problemes específics en aquest segment de mercat que no podrien ser resoltes d'una altra forma. En el cas espanyol i català, el problema històric de l'aïllament amb Europa per causa del diferent ample de via entre ambdues xarxes ferroviàries, és el màxim limitador en la competitivitat del ferrocarril com a transport de mercaderies enfront del camió pels tràfics internacionals. I és que qualsevol connexió ferroviària entre l'estat espanyol i la resta d'Europa (amb l'excepció dels trens procedents del Port de Barcelona per la nova connexió internacional) precisa del transbordament de càrrega al material rodant d'eixos d'ample internacional. La pressió dels nuclis industrials espanyols i catalans han aconseguit ja que des del Port de Barcelona s'arribi directament a Europa, trepitjant parcialment la línia d'alta velocitat. La fórmula usada es basa en l'acondicionament de les línies existents amb un tercer carril per permetre el pas de trens de mercaderies més competitius. Però aquesta adaptació, si bé esdevé raonable i rentable, és molt lenta d'executar i calen solucions a curt termini.

El plantejament de fer viable el trànsit de mercaderies a la línia d'alta velocitat Barcelona - Madrid es justifica doncs, essencialment en la voluntat de poder fer arribar trens de mercaderies des de l'estat espanyol cap Europa en una via del mateix ample, sense necessitat d'efectuar canvi d'ample dels eixos dels trens, aconseguint així que aquests trens siguin competitius enfront el transport per carretera. I es veu reforçada pel fet que des del Nus de Castellbisbal, punt travessat per la línia, es disposa ja de connexió amb ample europeu per a trens de mercaderies.

És probable que en un futur pròxim els grans projectes europeus per a la construcció d'eixos de comunicacions transfronterers, o bé la consecució del tercer carril a tota la xarxa espanyola, portin a una nova dimensió del transport de mercaderies assolint la normalitat de l'existència de línies de ferrocarril dedicades exclusivament al transport de mercaderies. Quan això sigui una realitat, i quedin cobertes les necessitats de connexió prioritàries entre les diverses terminals, desapareixerà la intenció de fer mixtes les línies dedicades exclusivament al transport de viatgers. En aquesta situació ideal futura doncs, cada naturalesa de ferrocarril disposarà de la seva pròpia infraestructura apropiada i dedicada en exclusivitat. Fins que aquest dia no arribi, caldrà buscar fórmules afavoridores del transport de mercaderies, per tal que la manca de inversions no segueixin desfavorint aquest tipus de transport.

Per poder plantejar aquesta alternativa amb rigor, cal reunir els criteris tècnics que ho assegurin. És necessari verificar, en cada corredor de forma específica, la viabilitat tècnica i econòmica de projectar-lo i explotar-lo amb serveis d'alta velocitat i trens convencionals de mercaderies. En l'àmbit tècnic, que és el que ocupa aquest projecte, les principals dificultats es troben, a priori, en la possibilitat de fer coexistir trens ràpids de viatgers (250-300km/h de velocitat màxima) amb trens de mercaderies, així com el deteriorament de la via produït pel pas de l'últim tipus de trens. Pel què fa a la viabilitat econòmica, pot quedar justificada en la obtenció de la rendibilitat econòmica de la pròpia línia. I és que degut als elevats costos de conservació de la infraestructura i de l'explotació dels trens d'alta velocitat, per tal que la línia resulti rentable econòmica-



ment es precisen d'uns mínims de passatgers anuals, que solen aproximar-se, tot i variar molt en cada cas, al voltant dels 8 o 9 milions. L'ús de les línies d'alta velocitat que no arriben a aquests mínims de transport, amb nous tipus de circulacions com les mercaderies, es pot presentar doncs, com la solució més encertada.

4. INTRODUCCIÓ

En el primer capítol d'aquesta introducció es revisarà la situació actual del ferrocarril i l'expansió de l'alta velocitat. En el segon capítol s'exposaran els antecedents de l'explotació de trens de mercaderies en línies d'alta velocitat.

4.1. Situació actual del ferrocarril

L'Eurostat ofereix dades sobre l'ús del ferrocarril en el transport de mercaderies a la Unió Europea. El total transportat al 2010 a la EU-27 va ser estimat en 389 bilions de tones-quilòmetre, un increment del 7,9% comparat amb l'any anterior, fet que es pot llegir com una recobrament de l'interès per aquest mode en un moment de crisi econòmica. Cal apuntar que durant el període del 2008 al 2009 però, es va patir una fort retrocés en l'ús del tren. Així mateix cal observar la gran variabilitat en el repartiment de les mercaderies transportades pels diferents països de la comunitat:

Goods transport by rail
Millions tkm
Thousands of tonnes

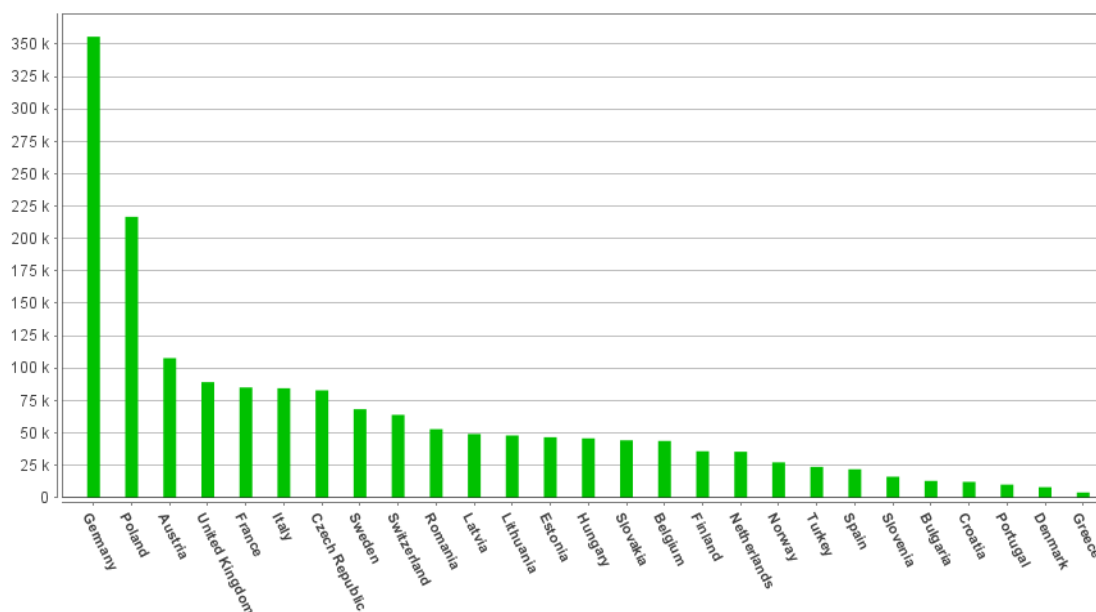


Fig. 1. Rànquing de mercaderies transportades per ferrocarril per país a la EU-27, en bilions de tones [39].

Com s'observa en el gràfic, Alemanya és capdavantera en el transport de mercaderies per ferrocarril, a molt distància de Polònia, el segon país, i molt més encara dels que venen a continuació. És aquest desequilibri el que ha motivat el consens polític en l'aposta per recuperar el terreny perdut del ferrocarril.

4.1.1. Actuacions polítiques per l'afavoriment del transport ferroviari de mercaderies

4.1.1.1. Llibre blanc dels transports

L'any 1996 La comunitat europea va publicar el Llibre Blanc anomenat "una estratègia per a la revitalització dels ferrocarrils comunitaris", de la qual van sorgir tres directives que van entrar en vigor l'any 2001, d'obligat compliment pels estats membres des del 2003, conegudes com el primer paquet ferroviari:

- *Directiva 2001/12/CE* sobre el desenvolupament dels ferrocarrils comunitaris.
- *Directiva 2001/13/CE* sobre la concessió de llicències a les empreses ferroviàries.
- *Directiva 2001/13/CE* relativa a l'adjudicació de la capacitat d'infraestructura ferroviària, aplicació de canons per la seva utilització i certificació de la seguretat.

El 2001 va aparèixer el segon paquet ferroviari, on es reforçava la seguretat, la interoperabilitat s'establia la creació de l'agència ferroviària europea. Es va constatar que la interoperabilitat del transport ferroviari a Europa és un dels punts on hi ha més treball a fer, en estar dificultada per l'existència de:

- 4 amplex de via principals.
- 5 sistemes d'electrificació.
- 18 sistemes de senyalització i control de tràfic.

Finalment, al 2004 es va iniciar el tercer paquet ferroviari, que te per objectiu l'augment de competitivitat del transport ferroviari.

4.1.1.2. TEN-T (trans-European transport network)

Arran del llibre blanc dels transports la comissió Europea ha iniciat un projecte per transformar el sistema de comunicacions europeus (carreteres, ferrocarrils, aeroports, canals i centres multimodals) en una xarxa unificada de transport, la TEN-T, on se suprimiran els colls d'ampolla, es millorarà la infraestructura i racionalitzarà el transport transfronterer per a viatgers i empreses de la Unió Europea.

La xarxa està concebuda per esdevenir la columna vertebral del Mercat Únic, i s'estima que portarà a un creixement del 80% del transport de mercaderies i un 50% del de viatgers quan hagi finalitzat, al 2050.

A l'octubre del 2011 es va dictaminar el finançament europeu (31.700 M€ aportats a través del Marc Financer Multianual, que es completaran amb inversions pròpies als diferents països) per a 10 primers projectes, que durant el període 2014-2020 se centraran en la supressió dels colls i les connexions complicades a les fronteres, obres que tardarien a realitzar-se sense l'impuls de la Comissió. Són 10 corredors ferroviaris que formaran una xarxa central, totalment operativa al 2030, moment a partir del qual s'enfocaran els projectes cap a una xarxa extensa que assegurarà la connexió entre tots els països de la UE, i acabarà al 2050.

Les directrius de la xarxa TEN-T estableixen requisits comuns per la infraestructura de la xarxa, el foment de la implantació de sistemes de gestió de tràfic comuns, i la reduccions de les emissions.

Els corredors que han quedat definits com a prioritaris per la primera fase de la xarxa central es mostren al mapa adjunt.



Fig. 2. Els 10 projectes prioritaris pel 2020 [18].

Pel que fa al corredor Mediterrani, s'inicia amb dues variants, la central que unirà Algesires i Tarragona passant per Madrid, i la litoral que enllaçarà Sevilla, València amb Tarragona. El corredor continua la costa mediterrània per Barcelona, Perpinyà i Montpel·lier, on s'enfila fins a Lyon, es bifurca cap al nord de Itàlia per Torí, Milà i Venècia, i arriba a l'Europa de l'est per Ljubljana, Budapest i la frontera ucraïana.

4.1.1.3. PEIT

El pla estratègic d'infraestructures i transport de l'any 2005, elaborat pel Govern espanyol, es va marcar com a objectiu adequar tota la xarxa de ferrocarrils a l'ample europeu, afegint un tercer rail a les línies actuals o creant-ne de noves. Es volia afavorir així el transport de mercaderies ja que, així, s'evitaria haver de fer l'operació de canvi de tren a Portbou a causa de la diferent amplada de les vies.

Les especificacions tècniques d'interoperabilitat (ETI's) defineixen els criteris que s'aplicaran pel disseny i construcció de noves línies ferroviàries:

- *Ample de via*: en línies de nova construcció, amb caràcter general, s'utilitzaran travesses d'ample internacional. En actuacions sobre línies existents o de nova construcció que per tractar-se de prolongació de línies existents es prevegi una explotació inicial en ample ibèric s'utilitzaran travesses d'ample mixt aptes per tres carrils de tal forma que permetin la migració progressiva a l'ample internacional.
- *Gàlils*: a les noves línies d'ample UIC s'utilitzarà el gàlib GC, el major recomanat per les ETI's. A les línies a les que sigui necessari l'explotació inicial d'ample ibèric, s'usarà un gàlib evolvent entre GC i GEC 16 (és un gàlib similar al GC, adaptat a l'ample ibèric).
- *Pendents*: per les línies en què estigui prevista la circulació de mercaderies s'usarà com a regla general pendents de fins a 12,5 mil·lèsimes, 15 si les condicions orogràfiques no en permeten menors i excepcionalment 20 m.
- *Longituds de via d'apartat*: seran de 750 m en les noves línies de mercaderies.
- *Electrificació*: s'usarà la tensió de 25kV CA.

Com es pot observar, qualsevol de les actuacions anteriors es podria resumir en la voluntat de transformar l'actual:

- Extensió progressiva de la interoperabilitat
- Transformació paulatina a l'ample estàndard europeu
- Impuls del tràfic de mercaderies per ferrocarril

4.1.1.4. PITC

El Pla d'Infraestructures i Transport de Catalunya elaborat pel Departament de Política Territorial i Obres Públiques (DPTOP) del 2006 dibuixava una línia de mercaderies d'ample europeu –la major part compartida amb passatgers- que enllaçaria el País Valencià i la frontera francesa formada per diversos trams. Entre València i Reus se substituiria la línia d'ample ibèric per una línia d'ample mixt (ibèric i europeu) amb la col·locació d'un tercer rail; entre Reus i Castellbisbal es crearia una nova línia exclusiva de mercaderies; entre Castellbisbal i Mollet del Vallès s'afegiria un tercer rail al corredor ferroviari mixt del Vallès; i entre Mollet del Vallès i la frontera francesa s'aprofitaria el tram, en construcció, del ferrocarril d'alta velocitat entre Barcelona i la Jonquera. Aquesta línia de mercaderies tindria connexió directa amb els ports de Barcelona i Tarragona gràcies a la construcció de trams d'enllaç d'ample europeu.

Cal destacar que actualment només s'ha complert el punt d'aprofitament del tram de la línia d'alta velocitat pel transport de mercaderies i l'afegiment del tercer carril a la línia de Castellbisbal a Mollet (per fer possible el pas dels trens cap a la LAV), evidenciant el fort retrocés que han patit les inversions ferroviàries de mercaderies en aquest territori, i sobretot, afirmant que en aquest cas l'alternativa de l'ús de la línia d'alta velocitat per tràfic de mercaderies s'ha considerat completament viable.

4.1.2. El desenvolupament de l'alta velocitat

La deixadesa de la infraestructura de mercaderies contrasta amb les grans inversions realitzades els últims anys pel ferrocarril d'alta velocitat, que ha portat en els últims anys a l'aparició d'una nova xarxa adaptada a les circulacions de material rodant especialitzat al transport de viatgers en altes velocitats.

4.1.2.1. Definicions prèvies d'alta velocitat

Cal resoldre prèviament una certa ambigüitat en la definició d'alta velocitat.

- **Alta velocitat segons la UIC i consideracions al present treball.**

La UIC aporta la definició d'alta velocitat utilitzada a la Unió Europea, tal com es defineix a la Directiva 96/48/EC APPENDIX 1. Distingeix entre infraestructura i material rodant. Són línies d'alta velocitat aquelles que:

- Línies construïdes especialment per l'alta velocitat, equipades per garantir tràfics majors o iguals a 250 km/h.
- Línies existents especialment millorades i adaptades per l'alta velocitat, equipades per garantir tràfics de l'ordre de 200 km/h.

Són trens d'alta velocitat aquells dissenyats per a garantir la circulació a:

- Almenys 250 km/h a línies especialment dissenyades per alta velocitat, i que puguin assolir o superar els 300 km/h sempre que la línia ho permeti.
- A velocitats de l'ordre de 200 km/h a línies existents que han sigut adaptades.

Tot i que és una definició prou clara del què és l'alta velocitat, hi ha algun cas que podria considerar-se ambigu. Aplicant aquestes definicions al ferrocarril de l'Estat Espanyol, es considerarien d'alta velocitat igualment els serveis AVE circulen per la xarxa d'alta velocitat a velocitats màximes majors a 300 km/h o els Euromed a la línia convencional adaptada corredor Mediterrani, que circulen a velocitats màximes de 200km/. Els serveis Trenhotel, que circulen parcialment per la línia d'alta velocitat a velocitats màximes puntuals de 220 km/h, no serien considerats doncs, trens d'alta velocitat. Però en el cas dels serveis Alvia i Avant, que circulant per la línia d'alta velocitat ho fan a velocitats màximes de 250 km/h, al no assolir-se els 300 km/h en aquells punts on la línia ho permet no s'haurien de considerar d'alta velocitat per la definició UIC. No obstant, i per consens en la nomenclatura d'ús generalitzat, es considerarà en aquest treball alta velocitat tot aquell material capaç d'assolir els 250 km/h. Per a velocitats d'entre 200 i 250 km/h, aquí es parlarà de velocitat alta, si be aquest concepte és molt més confús a nivell de bibliografia i s'evitarà sempre que sigui possible.

- **Altes prestacions**

El concepte línia d'altres prestacions s'utilitza al PEIT de l'any 2005, designant a aquelles línies electrificades de doble via amb ample internacional habilitades per a tràfic mixt (tant de viatgers com de mercaderies). De totes maneres, en la definició del terme al glossari del PEIT s'indica que també pot referir-se a línies exclusives de passatgers i línies d'ample ibèric, convertint la definició en poc precisa i inconcreta. En aquell treball doncs, aquest terme no s'utilitzarà.

- **Classificació de les línies d'alta velocitat**

López pita (2010) va establir una classificació per les línies d'alta velocitat en funció de la tipologia del material rodant circulant:

- *Línies T1:* Són aquelles línies especialitzades únicament al transport de viatgers. A Europa, és el cas de la majoria de LGV (*ligne à grande vitesse*) franceses.
- *Línies T2:* Línies ferroviàries on només hi circulen trens de viatgers, però tant amb trens d'alta velocitat com amb material convencional. És el cas de les línies espanyoles actualment operatives, on els trens d'alta velocitat (250-300 km/h) comparteixen via amb combois Talgo, propis de via convencional.
- *Línies T3:* Hi circulen al mateix temps serveis especialitzats d'alta velocitat per a viatgers i material rodant convencional pel transport de viatgers i mercaderies.

És el cas d'algunes línies alemanyes i el tram Barcelona – Perpinyà de la línia d'alta velocitat Madrid-Barcelona-frontera francesa.

4.1.2.2. L'alta velocitat al món

La revista Railway Gazette International (RGI) publica cada dos anys un informe sobre les majors velocitats mitjanes mesurades en les diferents països del món.

- **Velocitats mitjanes màximes**

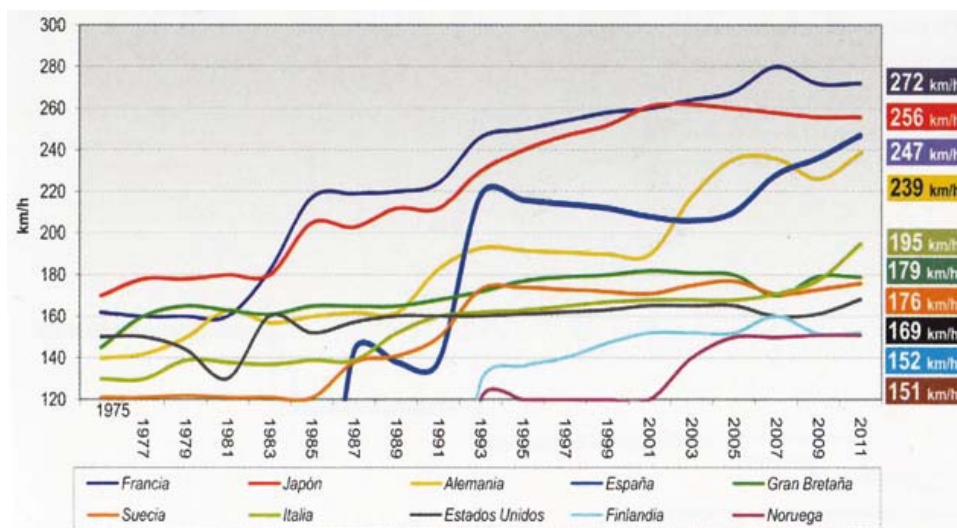


Fig. 3. Evolució de les velocitats mitjanes entre parades majors a cada país [18].

En l'estudi de l'any 2011 s'han exclòs les dades de la Xina per la confusió sobre les velocitats reals d'aquest país. Més endavant però es va confirmar que aquest país ocupa la primera posició del rànquing, sense poder concretar amb un valor concret. Així, els països amb majors velocitats mitjanes en alta velocitat són, per ordre, la Xina, França, el Japó, Espanya i Itàlia. En destaquen els tres trams més ràpids del món:

- *Xina*: 296,3 km/h (estimats) al trajecte Guanzhou Nan - Wuhan, de 968 km i una parada intermitja.
- *França*: 271,8 km/h entre Lorraine - Champagne-Ardenne, de 167,6 km.
- *Japó*: 256 km/h, entre Hiroshima - Kodura, de 192 km.

En el cas concret d'Espanya es pot apreciar el moment històric que va entrar en funcionament l'AVE Madrid-Sevilla, l'any 1992. Actualment la major velocitat mitjana correspon als 248,6 km/h del trajecte directe entre Madrid i Barcelona, de 621,4 km.

- **Longitud de xarxa**

El país amb major número de quilòmetres de línies d'alta velocitat és, amb molta diferència, la Xina. A continuació es troben Japó, Espanya i França amb uns números molt similars. Continuen Alemanya i Itàlia.

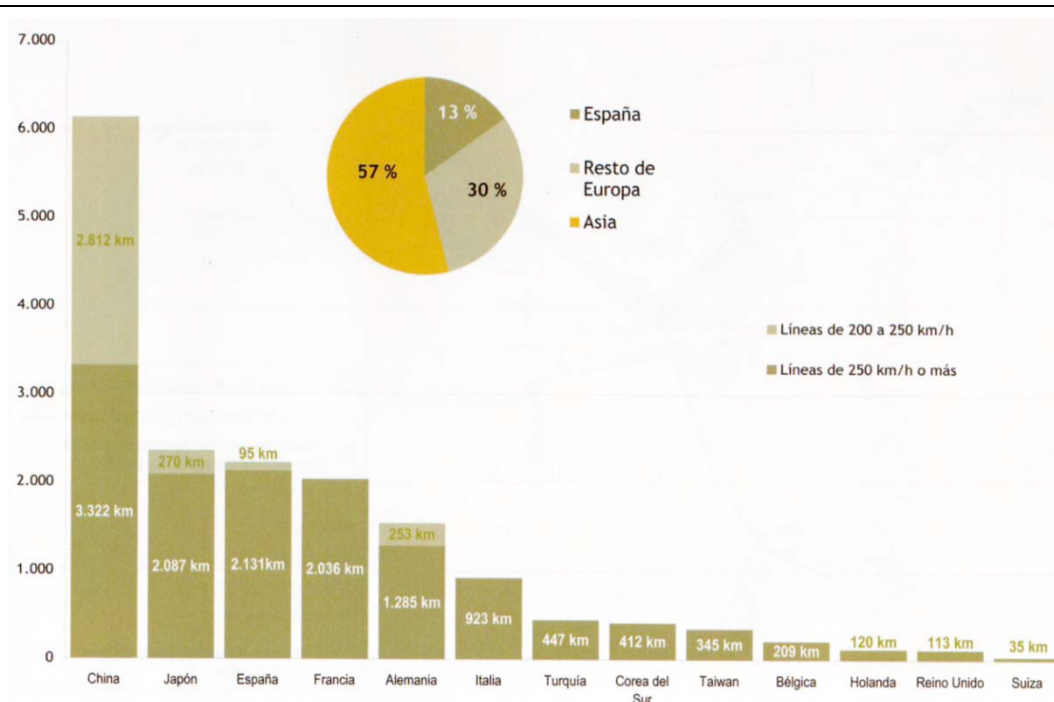


Fig. 4. Longitud de les xarxes d'alta velocitat nacionals l'any 2011 [19].

Destaca la posició privilegiada d'Espanya, que com s'observa representa un 13% del total mundial.

4.1.2.3. L'alta velocitat a Europa

S'analitzen els traçats de les principals xarxes d'alta velocitat d'Europa.

4.1.2.3.1. Xarxes nacionals

S'expliquen breument les xarxes d'Espanya, França, Alemanya i Itàlia.

- **Red de Alta Velocidad Española**

La xarxa espanyola té un format radial, de manera que els quatre grans corredors que la constitueixen connecten Madrid amb els diferents punts cardinals de la península. El Nafa (*nuevo acceso ferroviario a Andalucía*), que porta a Sevilla va ser inaugurat l'any 1992 i va representar la primera línia d'alta velocitat de l'estat. El corredor Nord-Est és el que connecta la capital amb Barcelona i la frontera francesa, si bé manquen per acabar dos trams des de Barcelona fins a Figueres per tal que el tràfic internacional complet sigui operatiu. El corredor de llevant porta a València i el corredor Nord, que actualment arriba fins a Valladolid, es ramificarà amb el ramal gallec (del qual ja està operatiu el tram Santiago-Orense) i cap a la Y basca entre les tres capitals del País Basc.



Fig. 5. Xarxa ferroviària d'alta velocitat a Espanya [19].

A Espanya hi ha diversitat de tipologia de línies, si be en totes l'operen trens d'alta velocitat i convencionals ràpids, fet pel qual la majoria de línies corresponen a la tipologia T2. No obstant, el Nafa va ser projectat per a tràfic mixt, tot i que mai l'han operat trens de mercaderies. En canvi el tram de Barcelona a la frontera, que també s'ha projectat per a tràfic mixt, ja està sent operat per a trens mercants (en aquells trams acabats), i és doncs un T3.

- **Lignes à grande vitesse (França)**

La primera línia d'alta velocitat a França va ser la LN1, entre París i Lyon, operativa des del 1981 amb els serveis TGV Sud-Est. A continuació, es van construir la LN2 entre París i Tours (TGV Atlantique) al 1989, la LN3 entre París, Calais i Lille (TGV Nord Europe) al 1993. Posteriorment la LN1 es va estendre per formar la LN4 des de Lyon fins a Valence (TGV Rhone-Alpes) al 1992, i la LN5 fins a Marsella (TGV Méditerranée) al 2001. La línia més recent és la LN6, que connecta París amb Estrasburg des del 2007.



Fig. 6. Línies d'alta velocitat a França [45].

Totes aquestes línies són del tipus T1, és a dir operades únicament amb material d'alta velocitat especialitzat, concretament els TGV (*Train a grand Vitesse*) de diverses generacions, tots ells fabricats per Alstom. Un cas particular és la línia Eurostar, que connecta Londres amb Calais per l'Eurotunnel, el túnel ferroviari que creua el canal de la Manxa, i pel qual hi passen tot tipus de serveis d'alta velocitat amb els Eurostar, convencionals i mercaderies. Cal precisar que les velocitats al túnel no estan permeses a superar els 180km/h (els Eurostar només assoleixen altes velocitat als trams francesos a partir de Calais), i per tant no es considera una línia d'alta velocitat.

- **Schnellfahrstrecken (Alemanya)**

Els principals eixos Alemany són el Colònia-Frankfurt, exclusiu de passatgers en alta velocitat (T1), el Hannover - Fulda - Würzburg, el Mannheim-Stuttgart i el Hannover -

Wolfsburg - Berlin, aquests últims projectats per tràfic mixt (T3), i operats principalment per trens d'alta velocitat i convencionals ràpids.



Fig. 7. Mapa de la xarxa Alemanya ICE mostrant les capacitats i velocitats màximes de les seccions [41].

Les línies alemanyes, a diferència de la majoria de línies d'alta velocitat, estan electrificades a 15kV i 16,7 Hz.

- **Alta velocitat ferroviària (Itàlia)**

La xarxa italiana d'alta velocitat la formen dues línies principals, la Torino-Milano-Napoli-Salerno, de la qual forma part la *direttissima* entre Florència i Roma que fou la primera línia d'alta velocitat del país (tot i que les velocitats màximes són de 250 km/h) i la Tori-

no-Milano-Venezia. S'estan construint ramificacions d'aquests dos grans eixos, amb diversos trams a velocitats que no arriben als 300 km/h, fet pel qual s'utilitza el concepte *Alta capacitat* per designar el tipus de serveis de passatgers en aquestes línies.



Fig. 8. Mapa de la xarxa italiana d'AV/AC (Alta velocitat alta capacitat) [42].

4.1.2.3.2. Xarxa europea

La UIC dibuixa l'evolució prevista de la xarxa europea contraposant el mapa de les línies d'alta velocitat l'any 2010 amb els esperats pel 2025:



Fig. 9. Estat de la xarxa europea d'alta velocitat l'any 2010 [43].

Amb el mapa de les línies previstes per l'any 2025.



Fig. 10. Evolució de la xarxa europea d'alta velocitat prevista al 2025 [43].

4.2. Antecedents en el transport de mercaderies en línies d'alta velocitat

S'examina en aquest punt l'experiència història del transport de mercaderies en línies d'alta velocitat.

4.2.1. Línia mixta d'alta velocitat

Una línia mixta d'alta velocitat (o LAV mixta) és una línia de ferrocarril projectada per tràfic mixt de trens de passatgers a alta velocitat (entre 250 i 350 km/h) i mercaderies a velocitats convencionals (entre 100 i 120 km/h), corresponent a la tipologia T3 de la classificació de les línies d'alta velocitat vista al punt 2.

4.2.1.1. Criteris d'explotació de les línies mixtes a Alemanyes i Itàlia

Alemanya i Itàlia van ser els primers països en considerar la possibilitat de fer circular trens de mercaderies en línies d'alta velocitat. Van preveure dos tipus d'explotació diferent; algunes de les línies van reservar l'ús dels mercants durant la nit (servei alternatiu), mentre que altres alternen el servei a qualsevol hora (servei simultani).

Els estudis per les primeres línies d'alta velocitat a Alemanya van concloure que l'explotació que més s'ajustava a la demanda era aquella que oferís velocitats màximes d'entre 200 i 250 km/h en el tràfic de passatgers, i de 120 km/h per les mercaderies. Les dues primeres línies alemanyes, entre Hannover i Würzburg per una banda, i entre Mannheim i Stuttgart per l'altra, foren construïdes seguint aquests principis.

En paraula de Wolf (1974) i Sitzmann (1975), [1]:

“Els punts extrems d'ambdues línies no tenen una importància comercial suficient per justificar, econòmicament, una explotació amb material especialitzat circulant exclusivament entre aquest centres de població. El transport ràpid per ferrocarril de semirremolcs o similars tindria l'avantatge de reduir la congestió, la pol·lució, etc. de manera que les noves línies hauran de tenir en compte aquest tipus de tràfic.”

Els criteris de planificació del disseny i explotació de les línies italianes d'alta velocitat van ser elaborades per un grup de treball pluridisciplinar de FS l'any 1986. Es va decidir la utilització de les línies en tràfic mixt argumentant el següent [1]:

“La utilització de les noves línies d'alta velocitat no estaran reservades exclusivament als serveis ETR500, com succeeix a les línies franceses amb els TGV, però tampoc es preveu una utilització completament mixta. S'ha programat un

sistema d'explotació segons un criteri de tràfic selectiu, amb trens que tinguin les mateixes característiques de velocitat en servei; durant el dia, amb trens de viatgers i durant la nit, amb trens compostos de cotxes-llit per trajectes de llarg recorregut, i alguns trens de mercaderies. Pels itineraris nocturns s'utilitzarà material especialitzat remolcat per locomotores E402"

Mentre a Itàlia des de bon principi la presència de trens de mercaderies va ser molt inferior a la previst i es va acabar clausurant el pas d'aquests tipus de serveis, a Alemanya la situació va evolucionar molt diferent. El fet de dividir les franges horàries en funció del tipus d'explotació va portar a evitar problemes d'interferència entre els trens i poder mantenir així la capacitat de la línia. Com s'observa a la figura, els tràfics de mercaderies a la línia d'alta velocitat Hannover- Würzburg són considerables.

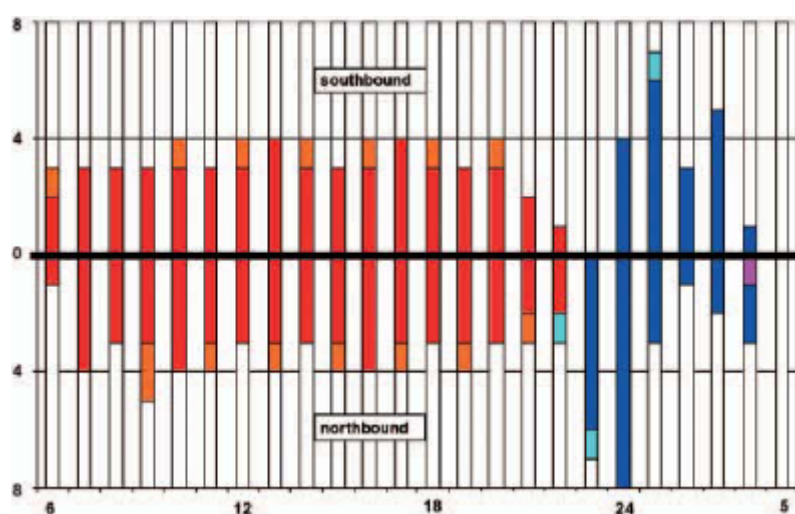


Fig. 11. Distribució horària amb el número de de trens de viatgers (vermell) i de mercaderies (blau) a la línia d'alta velocitat Hannover- Würzburg l'any 2001, pels dos sentits de marxa [20].

Tot i la oposada evolució dels serveis operants, les línies mixtes alemanyes (Hannover-Würzburg i Mannheim-Stuttgart), i italianes (Roma-Firenze), es van dissenyar amb uns característiques tècniques molt semblants per tal de permetre el pas tant dels trens d'alta velocitat com els de mercaderies en unes condicions d'explotació molt diferent.

Taula 1. Característiques d'explotació de les línies mixtes d'alta velocitat d'Alemanya i Itàlia [1].

Tipus de tren	Velocitat màxima (km/h)	Càrrega per eix (t/eix)	
		locomotora	material remolcat
Alta velocitat viatgers	250-300	16-17	
Convencional viatgers	160-220	20-22	12-14
Mercaderies	100-160	20-22	16-20

4.2.1.2. Línia mixta Barcelona - frontera francesa

El traçat Barcelona - frontera francesa encara no està acabat de construir i per tant no es disposa encara de la connexió d'alta velocitat amb la xarxa Europea pels serveis d'alta velocitat espanyols. Tot i així, aquesta línia és d'especial interès per l'estudi del present projecte ja que aquest tram s'ha projectat per a tràfic mixt, i actualment ja hi ha circulacions compartides de passatgers i mercaderies fins a Figueres, fet pel qual els paràmetres de disseny d'aquesta línia seran considerats de referència.

Taula 2. Característiques de la línia mixta Barcelona - frontera.

Distància Barcelona - Figueres	131 km
Entrevia	4,7 m
Carril	60 kg/m
Travessa	Monobloc AI-04
Altura gàlib	5,3 m
Electrificació	2x25 kV 50Hz
Longitud màxima material	
• <i>Trens passatgers</i>	400 m
• <i>Trens mercaderies</i>	750 m

Entre el nus de Mollet i Figueres, on està permès el tràfic de mercaderies, el traçat s'ha dissenyat seguint els requeriments tècnics següents:

- Pendents màximes de 18‰.
- PAET per a trens de 750 m.

Com ja s'ha comentat, el tram Barcelona - frontera francesa s'ha projectat per a tràfic mixt, tot i que les circulacions de mercaderies en línia d'alta velocitat s'efectuaran a partir o fins a Mollet, a través del tercer carril pel nus de Castellbisbal, ja que cap a Barcelona-Sants no està permès el pas dels mercants.

Les característiques del tram, en especial les rampes de 18‰, limiten el tonelatge brut dels trens, actualment traccionats tots ells amb dues locomotores Renfe Serie 252. Les càrrega màxima permesa es troba en 1600 t, si be la càrrega màxima assolida pels trens ha sigut de 1340 t. La limitació de càrrega és un dels motius pels quals els trens més pesats continuen circulant per Portbou mitjançant el transbord.

Un dels punts més particulars d'aquesta línia és el túnel del Pertús, situat a l'últim tram de la LAV, que ja està acabat i operat amb material d'alta velocitat francès. Enllaça l'estació de Figueres-Vilafant amb l'entroncament a la línia convencional francesa (en ample internacional) d'El Soler, molt a prop de Perpinyà. En destaquen les següents característiques:

Taula 3. Característiques tècniques del tram Figueres-Perpinyà [17].

Distància	44,4 km (19,8 a Catalunya i 24,6 a França)
Radi mínim	7000 m
Perlats màxim	135 mm
Rampa màxima en recta	18 ‰
Longitud de rampa	3077 m
Categoria de línia	D4
Massa màxima per eix	22,5 t
Massa màxima per longitud	8 t/m

La major part del tram s'ha donat en concessió a l'empresa privada TP Ferro, que va acabar la construcció del tram el febrer del 2008. La part més destacada del recorregut és el túnel del Pertús, de 8,4 km de longitud, format per dos tubs de 8,5 m² de diàmetre. Les velocitats pel túnel del Pertús estan restringides segons el tipus de tren:

Taula 4. Límit de velocitats a través del túnel del Pertús [17].

Tipus de tren	Velocitat màxima	Velocitat mínima
Passatgers d'alta velocitat	200 km/h	120 km/h
Mercaderies equipats amb ERTMS 1	140 km/h	80 km/h
Mercaderies no equipats amb ERTMS 1	100 km/h	80 km/h
Transports especials	-	60 km/h

Degut als retards en la construcció de la resta de la línia, els tràfics a través del túnel, dels quals TP Ferro en percep uns canons, són molt inferiors als estimats en l'acord per a la concessió. És per això que el govern espanyol ha hagut de indemnitzar aquesta companyia i n'ha augmentat el període de concessió.

Per altra banda resulta important senyalar que una clàusula del contracte anomenada "contra la degradació de l'equilibri econòmic" especifica que no es podrà implementar l'ample UIC -per tercer carril o per substitució de via- en el tram Figueres Port Bou (tram que permetria la connexió des de França amb ample internacional per la via convencional, fins al punt on hi ha del tercer carril), abans que els tràfics hagin augmentat suficientment com per mantenir els dos itineraris transfronterers, considerant que l'adaptació a ample UIC a curt termini podria degradar l'equilibri econòmic de la concessió.

4.2.1.2.1. Connexió Port de Barcelona - frontera francesa

Des de finals del 2010 es disposa de connexió ferroviària entre la zona portuària de Barcelona i Perpinyà en ample UIC. Per fer-ho possible se circula pels diferents trams acabats de la línia d'alta velocitat d'ús mixt entre Barcelona i la frontera, i en aquells on les obres encara no han acabat, mitjançant connexió a la línia convencional on s'hi ha instal·lat un tercer carril sobre travesses adaptades.

Els trens de mercaderies que utilitzen aquest corredor circulen per 75 km de tram d'alta velocitat. Concretament, en un tram entre Mollet i Girona Mercaderies i l'altre a partir de Figueres, on la connexió amb Europa ja està operativa. El recorregut és el següent:

- *Morrot-Can Tunis-Castellbisbal*: 25,7 km (tercer carril), efectuats en el ramal exclusiu per a mercaderies, el qual també permet el trànsit en ample ibèric i que actualment expedeix tots els trens que surten del Port.
- *Castellbisbal-Nus de Mollet*: 19 km (tercer carril), efectuats en línia compartida amb els trens de rodalies.
- *Nus de Mollet*: 3,5 km (ample UIC), exclusius pel tràfic de mercaderies. En direcció nord, és la via que enllaça amb la línia d'alta velocitat. En direcció sud, hi ha una via que connecta amb la terminal de mercaderies de La Llagosta.
- *Mollet-Montmeló*: 3,6 km (LAV). Primer tram compartit amb la línia d'alta velocitat.
- *Túnel de Montmeló*: 1,5 km (tercer carril). A causa de les obres al túnel d'alta velocitat de Montmeló, s'estableix el desviament per tercer carril a la línia convencional que hi passa en paral·lel. És un petit tram en el qual els trens de mercaderies passen per una de les dues vies de l'estació, que en un futur també quedarà soterrada.
- *Montmeló-Girona mercaderies*: 66 km (LAV), és el llarg tram acabat d'alta velocitat que actualment només dona servei a aquest tipus de trens.
- *Girona Mercaderies - Vilamallà*: 41,2 km (tercer carril), corresponent al tram de la línia Barcelona-Portbou amb el tercer carril instal·lat. Representa una de les principals inversions d'aquest projecte, ja que per
- *Variant de Figueres*: 4,5 km (tercer carril), és un tram del futur ramal exclusiu de mercaderies que unirà Vilamallà amb l'estació de Figueres-Vilafant d'alta velocitat.

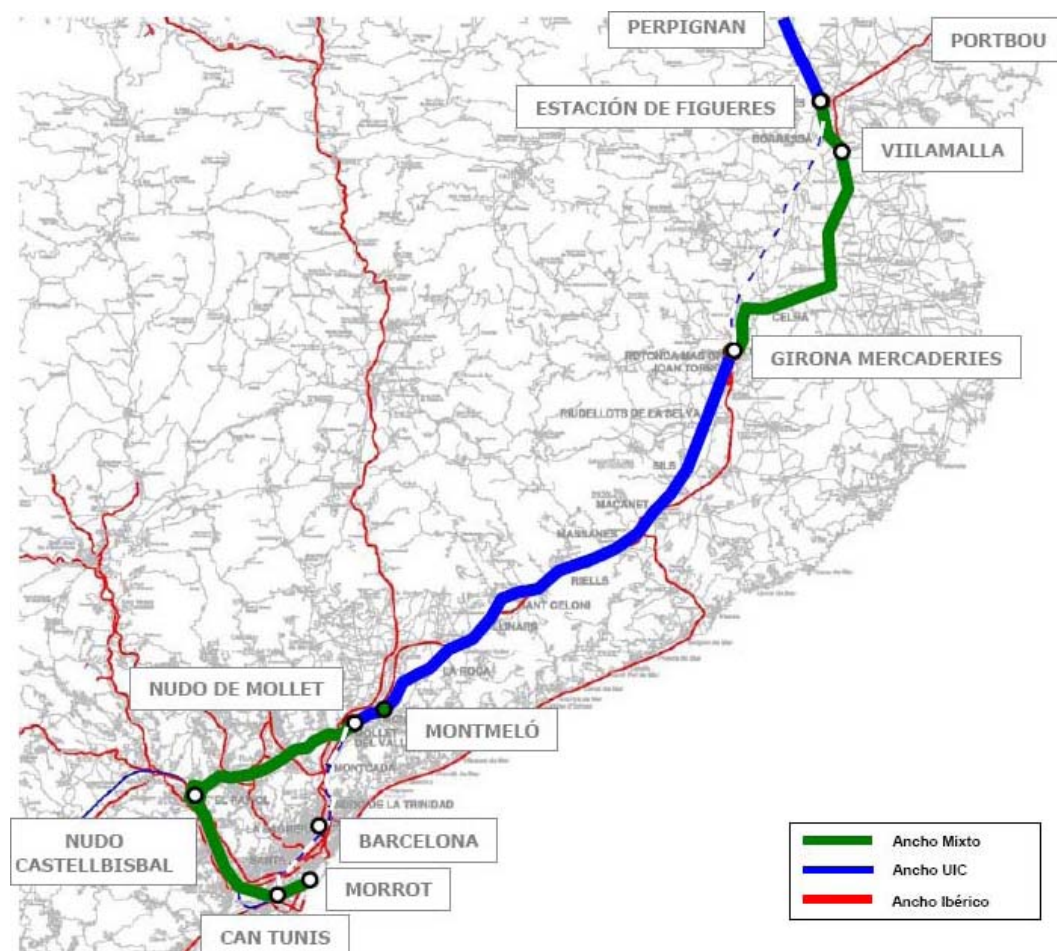


Fig. 12. Mapa de la connexió de mercaderies entre el Port de Barcelona i Perpinyà, on s'aprecien els tres tipus de vies en les línies per on es desenvolupa el recorregut [11].

A més de la implantació del tercer carril, les instal·lacions es complementen amb l'execució de 6 apartadors que permeten l'estacionament de trens de 750 metres; l'adaptació de la línia aèria de contacte de la línia convencional (per evitar el major desgast del pantògraf al cantó on hi ha el tercer carril), que subministra energia als trens a 3 kV en corrent continu a els trams d'ample convencional i a 25 kV en corrent altern en els trajectes d'alta velocitat, i la dotació de moderns sistemes de seguretat, telecomunicacions i senyalització, com l'ERTMS i el GSM-R. Els sistemes de gestió de trànsit estan regulats des del Centre de Regulació i Control (CRC) d'alta velocitat i el Control de Trànsit Centralitzat (CTC) de Barcelona.

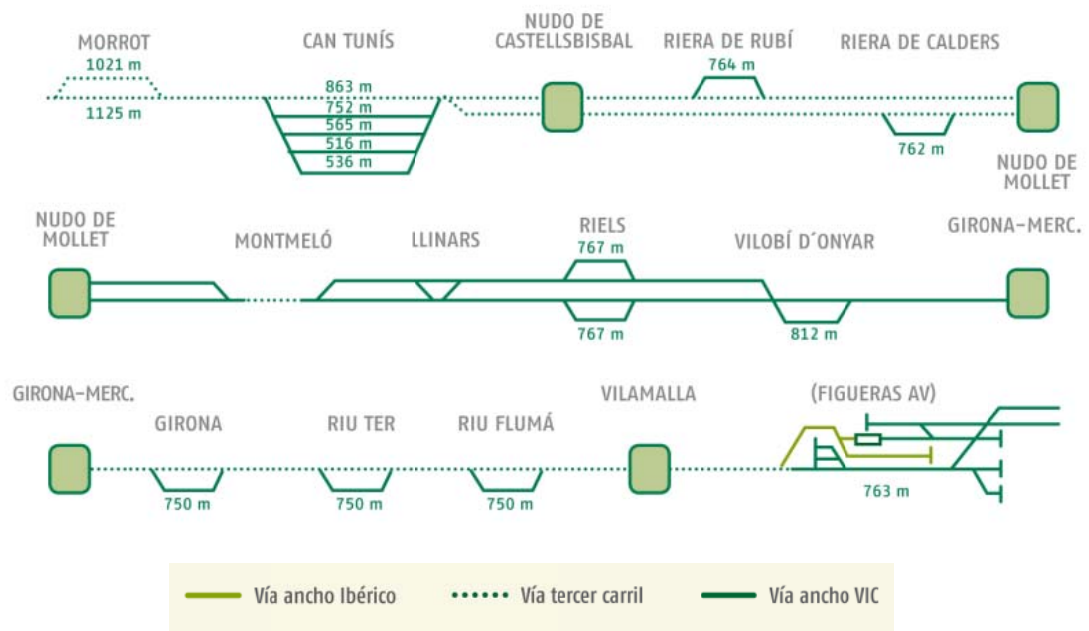


Fig. 13. Longituds dels punts d'apartat per a trens de mercaderies d'ample UIC entre les terminals del Port de Barcelona i Figueres [11].

El major benefici d'aquesta connexió és el que representa poder evitar ruptures de càrrega en arribar a la frontera, en no ser necessari el transvasament de les UTI a plataformes d'ample internacional o la modificació dels eixos dels trens, el que genera una significativa reducció en els temps de viatge i menor costos d'operació a les terminals frontereres. A més a més, s'ofereix una major capacitat de transport al homologar les longituds dels trens als estàndards europeus, de fins a 750m.

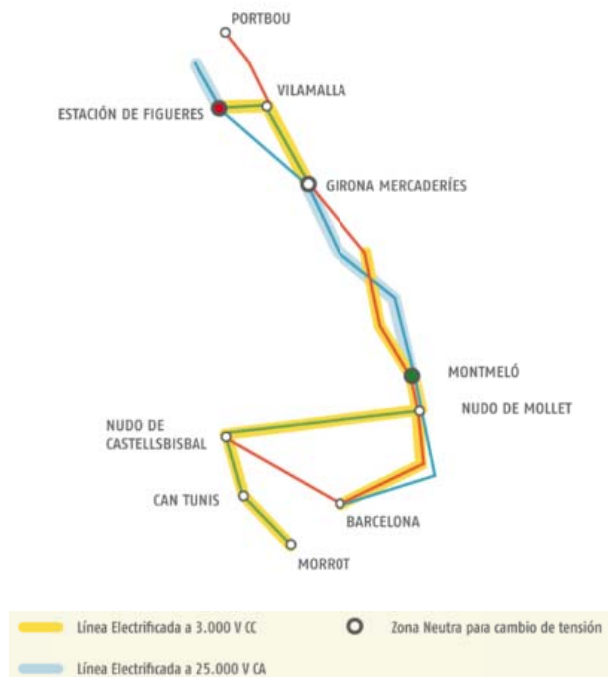


Fig. 14. Electrificacions de la connexió Port de Barcelona - frontera francesa. Font:

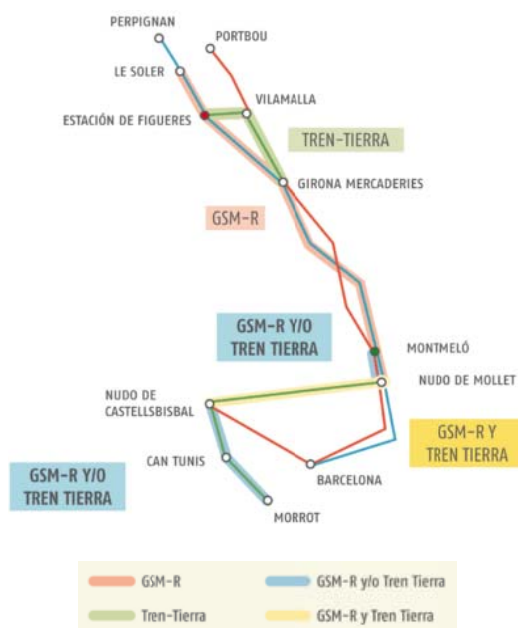


Fig. 15. Sistemes de comunicació de la connexió Port Barcelona - frontera francesa. Font:

4.2.2. Tipus de trens de mercaderies que operen una línia d'alta velocitat

Es poden diferenciar tres tipus de trens que poden circular per una línia d'alta velocitat segons les seves velocitats màximes.

4.2.2.1. Trens de mercaderies d'alta velocitat

Hi ha un tipus de mercaderies lleugeres que permeten ser transportades per trens molt similars als d'alta velocitat o en vehicles especials que permeten circular al voltant dels 200 km/h. Són trens puntuals donat el poc volum que ocupen aquests transports, i no impliquen restriccions de capacitat o de disseny a les línies d'alta velocitat.

El cas més destacable és el TGV La Poste, operat per la SNCF i La Poste (empresa postal de França), que cobreix principalment la línia París - Lyon. El tren és un model TGV d'Alstom de vuit cotxes transformat per a encabir 32 contenidors de paqueteria. Assoleix velocitats màximes de 270 km/h.



Fig. 16. TGV transformat per al transport de paqueteria [52].

El consorci EuroCarex (format per SNCF, Eurotunnel, La Poste, Air France, FedEx i els operadors dels aeroports de París, Amsterdam, Lieja i Lyon) pretenen disposar d'una xarxa de transport de paqueteria urgent per ferrocarril que substitueixi els vols d'aquest tipus de càrrega el 2017. El servei contarà d'una flota pròpia de material rodant, aproximadament en unes 25 unitats, que connectarà diversos aeroports i ciutats europees a través de línies d'alta velocitat.

S'estima que un tren amb capacitat de 120 t com l'utilitzat pel servei postal francès pugui substituir a 7 avions 737.



Fig. 17. Futura xarxa EuroCarex pel transport ferroviari de paqueteria a alta velocitat [53].

4.2.2.2. Trens de mercaderies “ràpids”

Són aquells trens que remolquen vagons amb característiques de disseny particulars que en permeten la circulació a velocitats superiors a 120 km/h. Existeix experiència a Alemanya i França d'aquest tipus de transport.

- **Trens de mercaderies amb velocitats màximes de 200 km/h**

La SNCF opera des del 2011 el servei de paqueteria MG_V (*Messagerie à Grande Vitesse*). Els trens que circulen entre Valenton i Miramas, ho fan parcialment a través de la LGV Sd-Est, amb velocitats màximes de 200 km/h. El servei entre Valenton i Tolouse, que utilitza la línia convencional, ho fa a màximes de 160 km/h. Cada composició és de 172 m, 9 vehicles, amb una càrrega total de 297t. Les locomotores tenen un pes per eix de 22,5 t i els vagons de 16,5 t. Els trens compleixen amb severes consignes de seguretat.

- **Trens de mercaderies amb velocitats màximes de 160 km/h**

A Alemanya va circular entre 1991 i 1995 un servei de mercaderies de DB, l'InterCargoExpress, amb velocitats màximes de 160 km/h. Per això es van adaptar 90 plataformes per contenidors i 13 vagons tancats amb portes correderes. Es va clausurar per falta de rendibilitat. L'any 2000 es va recuperar aquest tipus de tren amb el ParcelInterCity, transportant paqueteria a velocitats màximes entre 140 i 160 km/h. Les plataformes es van recuperar de l'antic servei InterCargo, i circulen 16 trens al dia.

- **Trens de mercaderies amb velocitats màximes de 140 km/h**

Des de finals de desembre del 2010 circula el Rossillon Express entre Perpinyà i la terminal de mercaderies Valenton a París, pel transport de productes hortofructícoles frescos. És hereu d'uns dels primers trens a circular a 120 km/h a França. Cal senyalar però que

aquest transport es realitza per línia convencional, si bé en part del seu recorregut els trens comparteixen via amb els TGV.

4.2.2.3. Trens de mercaderies convencionals

Els trens de mercaderies convencionals circulen per línies mixtes d'alta velocitat amb velocitats màximes fins a 120 km/h, i pesos per eix màxims de 22,5 kg/eix. L'exemple més clar són els que des del 2010 operen parcialment per la línia d'alta velocitat Barcelona - frontera francesa, en la connexió des del port que s'ha explicat anteriorment.

Al desembre del 2011 Renfe havia transportat 96.000 t de mercaderies a través de la línia d'alta velocitat cap a Lyon, Tolouse, Milà i Amberes, equivalent a més de 9.200 Teus. Tot i que encara estan lluny de les 795.000 t que es transporten a través de Portbou, això suposa un increment del 23% respecte a les tones transportades per tràfic intermodal (és a dir, aquelles mercaderies que arriben de França amb tren i continuen a Espanya per carretera) l'any 2010 a través de la frontera.

Els serveis actuals es realitzen amb vagons plataforma portacontenidors remolcats per dues locomotores 252, que han sigut modificades per permetre la seva circulació per les diferents tensions de catenària (3.000 V ample convencional, 25.000 alta velocitat i 1.500 V França). Una vegada superada la frontera, es canvia de locomotora realitzant una sèrie de maniobres a la base Le Soler. Des de Perpinyà i fins la regió de París, Luxemburg o Alemanya les pendent són més baixes que en territori català, fet que permet continuar el trajecte amb una sola locomotora.

Actualment hi ha dos operadors en actiu, El Barcelyon i el Barcetolouse Expres formen part d'un consorci entre Renfe, el Morrot i Navicargo, filial de mercaderies de SNCF. Els dos serveis viatgen junts des del Port fins a Le Soler, on les dues locomotores espanyoles deixen pas a dues franceses, on cada una remolca cada part de la composició a les seves destinacions. El tren Hupac, si bé també remolcat per Renfe, l'estableix aquest operador suís. Paral·lelament s'han realitzat proves amb composicions de trens portacotxes fins a Alemanya, si bé de moment tots els trens en servei comercial són portacontenidors.



Fig. 2. Tren Barcelyon Express, circulant per la línia d'alta velocitat a Llinars del Vallès [54].

5. ESTUDI DE VIABILITAT GENERAL

5.1. Variables de disseny d'una línia de ferrocarril d'alta velocitat

En aquest capítol es caracteritzaran tècnicament els elements que constitueixen el sistema línia d'alta velocitat més rellevants per tal d'obtenir les variables de disseny de la línia.

La caracterització es basa en els paràmetres de referència que faciliten les especificacions tècniques d'interoperabilitat (ETI) d'alta velocitat redactades per de la Comunitat Europea, les diverses fitxes tècniques de la UIC, les pròpies normatives de les diferents administracions ferroviàries nacionals, i concreta bibliografia especialitzada.

Es diferencien tres subsistemes: el d'infraestructura, el d'exploració i el de manteniment de la línia.

5.1.1. Infraestructura

La infraestructura ferroviària inclou totes les instal·lacions i edificacions necessàries per la circulació del material rodant, les quals es poden agrupar en la subestructura, la superestructura, el traçat i l'obra civil.

5.1.1.1. Subestructura

Són les parts del terreny que es troben immediatament sota les travesses, que suporten les càrregues que aquestes els hi transmet. Té com a funció principal el recolzament de la superestructura, impedit-ne qualsevol tipus de deformació sota les condicions de tràfic de la línia.

A diferència de les línies convencionals, sota el balast d'alta velocitat es disposen un conjunt de capes intermèdies que en permeten la millor distribució de pressions sobre la plataforma. Així doncs formen la subestructura el balast, les capes d'assentament (només en alta velocitat) i la plataforma.

5.1.1.1.1. Plataforma

Constitueix l'estructura inferior de la via. La seva funció és la de donar recolzament a les capes d'assentament i la superestructura, assegurant que no es produeixin deformaci-

ons que impedeixin l'exploració normal, així com el drenatge de les aigües superficials cap a les cunetes, fet que s'aconsegueix aïllant la plataforma de les capes superiors.



Fig. 18. Col·locació de material tèxtil sobre la plataforma de via [2].

Està formada pel propi terreny, quan la via circula per territori pla, o per sòls d'aportació, quan aquesta ho fa per una depressió.

L'amplada de plataforma depèn de la velocitat del projecte, de manera que aquesta augmenta a mesura que ho fa la velocitat comercial de la línia. En aquest cas també es precisen de plataformes de major qualitat, per així evitar moviments de terreny que puguin produir deformacions a la via, molt perilloses a alta velocitat.

5.1.1.1.2. Capes sub-base d'assentament

Les capes d'assentament varien segons el disseny de cada línia, i en diverses fonts bibliogràfiques s'hi inclou també el balast, tot i que aquí s'estudiarà separatament. Són capes formades per

La plataforma que es necessita per la circulació de trens d'alta velocitat segons les instruccions d'ADIF, requereix dues capes d'assentament, la capa de forma i el sub-balast, sobre les quals es recolza el balast i la superestructura. La capa de forma és la capa superior de la plataforma que es disposa amb l'objectiu de millorar-ne la capacitat portant. El sub-balast per la seva banda té les funcions de protegir la plataforma contra l'erosió i la gelada, evacuar les aigües pluvials i millorar el repartiment de càrregues, així com evitar la contaminació del balast des del sòl de la plataforma.

5.1.1.1.3. Balast

És la bancada sobre la qual descansen les travesses, i un dels elements més importants de l'alta velocitat. El balast reparteix els esforços rebuts per les travesses de la manera més uniforme possible sobre la plataforma. S'encarrega també de drenar l'aigua de forma eficaç tot conduint-la fora de la zona de la plataforma, amortir les vibracions i absorbir el soroll. Està format per materials granulars resistent a les càrregues aplicades i molt duradors. La grandària mitjana del balast està situat entorn dels 40 mm de diàme-

tre. El balast ha de respondre a dues propietats essencials, la resistència al xoc i la resistència a la abrasió.

- *Resistència al xoc*: es mesura mitjançant l'assaig de Los Angeles, i reflexa la resistència de la accions cícliques, l'impacte causat pels trens i el procés de bateig (veure punt 5.1.3.1.4). A menor índex L.A., més resistència al xoc.
- *Resistència a la abrasió*: es mesura amb l'assaig de Deval, i determina la fragilitat de l'àrid. A major coeficient, menor fragilitat.

En la construcció de línies d'alta velocitat la SNCF [2] va establir el coeficient de duresa global (DR), que agrupa els dos coeficients anteriors, el de Deval i el de Los Angeles. Es van establir els següents valors recomanables en funció del tipus de línia:

- Línies principals amb fort tràfic i velocitats màximes de 200 km/h: $DR \sim 17$. Aquest valor correspon a $CLA \sim 20$ i $CD \geq 15$.
- Línies d'alta velocitat: $DR \sim 20$. Aquest valor correspon a $CLA \sim 17$ i $CD \geq 20$.

Per tant s'observa que el balast utilitzat en alta velocitat ofereix majors resistència global al de les línies convencionals.

5.1.1.2. Superestructura

La superestructura la formen tots aquells elements que integren la via situats damunt el balast: les travesses, els carrils, les subjeccions i els aparells de via. Per les vies en placa, aquestes substitueixen el balast i les travesses.

5.1.1.2.1. Travessa

Element sobre el qual es recolzen els carrils. Compleix les funcions de mantenir la separació constant entre els dos carrils i a la seva posició correcta, i transmetre els esforços rebuts al balast. Hi ha tres variables importants en el disseny de les travesses per una línia:

- *Àrea de recolzament*: a major superfície, major reducció de les pressions transmeses a la capa de balast
- *Pes de la travessa*: aporta major estabilitat a la via.
- *Distància entre travesses contínues*: és un compromís entre distàncies curtes, que limiten el correcte bateig de la via, i distàncies llargues, que suposen una deformació exagerada del carril. Per això el valor de separació de les travesses, mesurat entre els seus eixos, sol variar entre els 50 i 70 cm, prenent usualment els 60 cm com a solució comuna tant per línies convencionals com per alta velocitat.

A Europa cada país ha apostat per un disseny de travessa propi. Mentre a Itàlia i Alemanya s'utilitzen les monobloc de formigó, França va apostar per les bi-bloc, formades per dos cossos de formigó units a través d'una riosta.

Taula 5. Característiques de les travesses utilitzades en alta velocitat. Elaboració pròpia a partir de [1] i [32].

<i>Tipus de travessa</i>	<i>País</i>	<i>Àrea de recolzament, F (cm²)</i>	<i>Pes (kg)</i>
RS Bibloc U41	França	2436	180
Monobloc DW o AI-99	Espanya	3125	220
Monobloc Italiana	Itàlia	3150	380
Monobloc B70	Alemanya	2850	304
Monobloc B90	Alemanya	3340	310

5.1.1.2.2. Carril

És l'element sustentador del material rodant, compost per un perfil d'acer laminat. Fa la funció de guiat del mòbil, suport de les accions dinàmiques generades per la velocitat, i anivellació del punt de rodolament.

El carril està sotmès a diverses tensions; el contacte roda-carril, les variacions tèrmiques i el procés de fabricació. Els rails es fabriquen seguint uns criteris normalitzats, a Europa la UIC. A les normes s'especifica la proporció dels components de l'aliatge que s'ha d'utilitzar i s'acota el perfil. A partir de perfils de 12-25 m s'obtenen els carrils per soldadura.

El paràmetre que determina el carril a instal·lar és el tipus de tràfic de la línia. Hi ha dos tipus de carrils utilitzats en les línies d'alta velocitat:

- Carril de 54 kg/m, principalment en línies convencionals millorades o les projectades per a velocitats de 140-160km/h.
- Carril de 60 kg/m, l'habitual per a línies noves d'alta velocitat.

A igualtat de condicions geomètriques de via, un tram de via de carril de 60 suporta un 20% més de pes per eix que un carril de 54.

Taula 6. Característiques dels carrils d'acer estàndard UIC [2].

<i>Tipus de carril</i>	<i>Inèrcia longitudinal I (cm⁴)</i>	<i>Pes (kg/m)</i>
UIC 54	2345	54
UIC 60	3055	60

El carril s'instal·la lleugerament inclinat cap a l'interior de la via per tal de resistir millor les accions a les que està sotmès i aportar estabilitat de marxa als bogis. La inclinació de

carril és doncs l'angle entre l'eix de simetria del perfil del carril i la perpendicular al pla de rodolament. No segueix cap criteri en funció de la velocitat.

5.1.1.2.3. Ample de via

És la distància entre les cares internes dels carrils, mesurada 14 mm per sota del pla de rodolament en alineació recta. En les línies convencionals, existeixen 10 amplex de via que s'usen com a estàndard al món. A Europa els més comuns són l'ample UIC de 1435 mm, l'ibèric de 1668 usat a Espanya i Portugal, l'ample de 1520 mm als països que formaven part de la Unió Soviètica, l'irlandès de 1600 mm i l'ample mètric utilitzat a diversos països en línies menys principals.

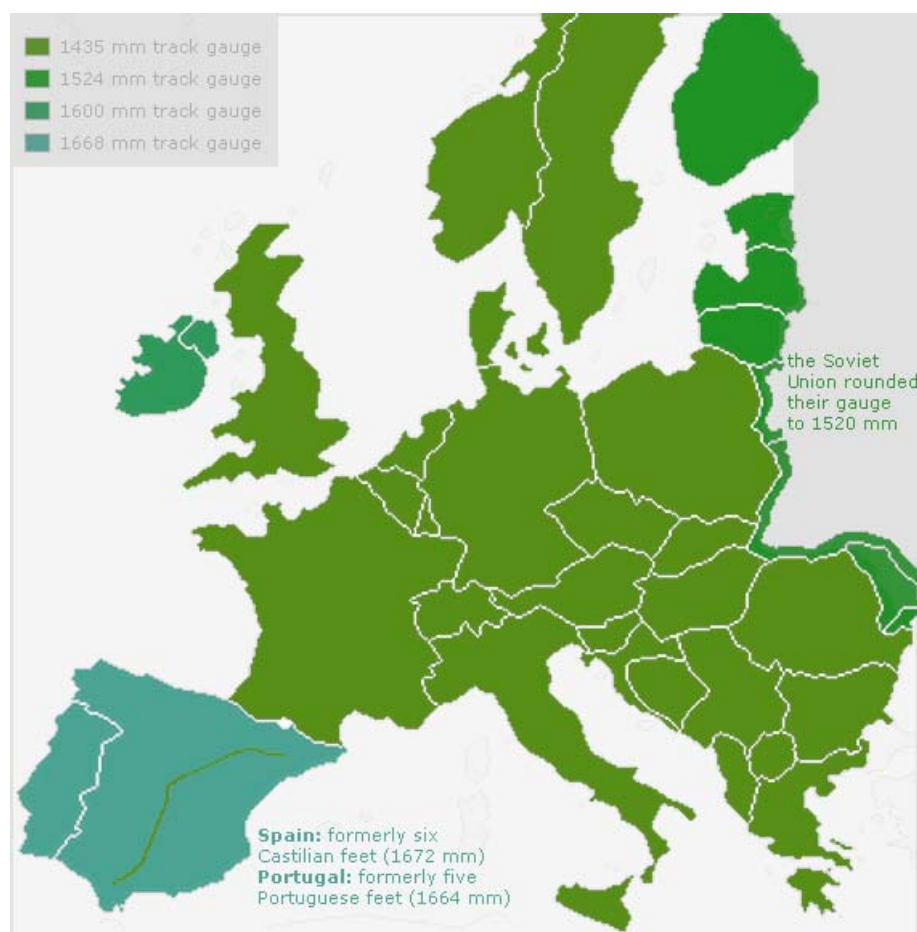


Fig. 19. Amplex principals de les xarxes nacionals europees [44].

L'ús de diferents amplex de via a les xarxes principals dels diferents països europeus és el factor que ha limitat més les interconnexions ferroviàries transfrontereres, si be aquest problema s'ha solucionat mitjançant transbordaments o els canviadors d'ample dels eixos dels trens.

L'ample de via en alta velocitat s'ha estandarditzat al Stephenson o UIC de 1435 mm.

5.1.1.2.4. Aparells de via

Són els aparells que permeten la continuïtat o modificació dels itineraris ferroviaris. Se'n distingeixen dos tipus:

- *Desviaments*: permeten a un itinerari ramificar-se en dos o més vies per enllaç tangencial dels seus eixos.
- *Travessies*: permeten la intersecció entre dues vies sense que hi hagi intercanvi d'una a l'altra.

Els desviaments disposen d'un conjunt mecànic que permet el canvi de direcció cap a un determinat carril. És un sistema format per unes agulles mòbils que giren per acció d'uns tirants.

5.1.1.2.5. Gàlib

Perfil amb perímetre acotat que marca les dimensions màximes de secció transversal que pot tenir el material mòbil amb la fi de no interferir amb la via i la resta de instal·lacions annexes. Es diferencien dos tipus gàlibs:

- *Gàlib cinemàtic*, definit com l'evolvent dels llocs geomètrics que pot ocupar qualsevol part d'un vehicle.
- *Gàlib d'implantació d'obstacles*, definit com l'àrea en la qual no poden existir elements fixes, exceptuant la catenària.

En alta velocitat els gàlibs són majors als de les línies convencionals, seleccionant una mateixa cota del contorn de referència:

Taula 7. Comparativa dels gàlibs entre dos tipus de línies [30].

<i>Tipus de línia</i>	<i>Gàlib cinemàtic de les parts altes</i>	<i>Gàlib de implantació d'obstacles de les parts altes (mm)</i>
Convencional	1720	2150
Alta velocitat	1920	2350

5.1.1.3. Traçat

El traçat defineix les característiques geomètriques de la línia, les quals es poden estudiar en alçat (o perfil longitudinal), planta i perfil transversal.

5.1.1.3.1. Entrevia

Distància mesurada en direcció transversal entre els dos eixos de vies contigües. Es fixa en un valor compatible amb la resistència de les caixes als esforços aerodinàmics generats al creuament de trens.

Els entre vies en línies d'alta velocitat se situa entre 4,2 i 5 m, valors superiors als de les línies convencionals.

5.1.1.3.2. Radi de corba

En circular per una corba el tren es veu sotmès a l'acceleració centrípeta, produïda pel canvi de direcció de la velocitat del tren:

$$\gamma = \frac{v^2}{r} \quad (5.1)$$

On v és la velocitat del comboi en traçar la corba i r el radi d'aquesta. La força centrífuga que apareix com a reacció a la centrípeta, tendeix a desplaçar el vehicle en sentit radial, afectant les condicions de circulació i la comoditat del viatger. És per això que els radis de corba en alta velocitat es planifiquen especialment elevats per permetre el pas del tren per la corba amb la mínima x reducció de velocitat mantenint les condicions de seguretat i confort de marxa.

Taula 8. Radis de corba necessaris en línies projectades per tràfic de viatgers i mixt en funció de les velocitats màximes [3].

Velocitat màxima (km/h)	Radis mínims normals (m)	
	Línia exclusiva viatgers	Línia mixta
200	1400	1500
250	2600	2800
300	4000	5400

5.1.1.3.3. Peralat

Per compensar l'efecte desestabilitzador de la força centrífuga es proporciona a les corbes d'un cert peralt, definit com la diferència de cota entre els dos carrils de via, que s'aconsegueix mitjançant l'elevació gradual del carril exterior sobre l'interior. El resultat dinàmic d'això és la reducció de la força centrífuga sobre el pla de la via.

Amb el peraltat doncs, s'aconsegueix disminuir l'acceleració centrípeta a la qual està sotmès el tren durant la inscripció en corba. La fracció d'acceleració que no resta sense compensar és:

$$\gamma_{sc} = \frac{v^2}{r} - \frac{h}{S} g \quad (5.2)$$

On h és el peralt, s la distància entre eixos, i g l'acceleració de la gravetat. Els trens ràpids però, circulen amb insuficiència de peralt, ja que el peralt de la via només compensa una part de la força centrífuga. Els valors màxims del peralt es limiten per qüestions de manteniment i seguretat, donat que els trens lents, normalment més pesats, circulen amb excés de peralt i provoquen desgasts importants al carril interior i apareix risc de descarrilament.

Taula 9. Peralts recomanats en diferents tipus de línies [30].

Tipus de línia		Límit de peralt	Límit d'insuficiència de peralt
Convencional		160	115
Alta velocitat	250-300 km/h	190	100
	$v \geq 300$ km/h	200	60-80

5.1.1.3.4. Rampa

En la circulació en una rampa (pujada), el tren es veu sotmès principalment a les següents forces:

- les que actuen en sentit de marxa del tren, la força de tracció.
- Les que actuen en contra del sentit de marxa, és a dir la resistència a l'avanç (que poden incloure la resistència en corba i túnel), i la força de la gravetat.

Hi ha diferents paràmetres de disseny que descriuen una rampa, que per la seva gran importància convé estudiar-los per separat.

- **Rampa crítica**

Per un tren circulant a la seva velocitat màxima, existeix un valor anomenat rampa crítica, en què les forces a favor i en contra del sentit de marxa del tren es compensen i aquest pot mantenir la seva velocitat durant la pujada. Si la rampa és major que el valor de rampa crítica, el tren no podrà mantenir la velocitat màxima, i al contrari, si la rampa existent és menor a la crítica, al comboi li sobrarà potència per mantenir la velocitat.

La rampa crítica és doncs un valor de vital importància en el disseny de la infraestructura, ja que per optimitzar el sistema, les rampes i corbes es dimensionen conjuntament tenint present el tren que pot circular per la línia. I és que la rampa crítica depèn de forma molt important de la relació potència/massa del tren i de la velocitat màxima.

- **Rampa màxima o característica**

El valor de rampa màxima, juntament amb el radi mínim, és un dels paràmetres més importants en el disseny del traçat d'una línia, i és un compromís entre els sobre costos que generen les rampes baixes en obra civil (túnel, viaductes), i la falta de potència dels trens per superar les rampes massa altes. És per això que el valor de la rampa el mar-

quen tant la orografia del terreny com l'explotació, concretament les prestacions del material rodant que circularà per la línia. Així doncs en línies mixtes per on es preveu el pas de trens de mercaderies les rampes es limiten més estrictament, per assegurar que els combois més pesants puguin arrancar i frenar a qualsevol punt de la pendent.

A les especificacions tècniques de interoperabilitat de Renfe, es presenten els valors recomanats de rampa màxima pels diferents tipus de línies ferroviàries.

Taula 10. Pendent màxima recomanada a les especificacions d'interoperabilitat de Renfe [2].

Tipus de línia		Pendent màxima (‰)
Línia convencional	$V_{\max} \approx 160$ km/h	15
	$V_{\max} \approx 200$ km/h	12,5
Línia d'alta velocitat	Tràfic viatgers	25
	Tràfic mixt	15

Aquestes especificacions però contrasten amb la realitat de les línies operades per Renfe, on les línies convencionals en bona part dels punts superen les 15‰ i el cas concret de la línia mixta d'alta velocitat entre Barcelona i la frontera les rampes màximes són de 18‰ i especialment de 23‰ a l'interior del túnel del Pertús. Les especificacions tècniques subratllen que en cap cas s'hauran de sobrepassar les 35 ‰.

- **Longitud de rampa**

Una variable relacionada amb l'anterior és la longitud de la rampa màxima. En cas que una rampa elevada persisteixi distàncies llargues, els motors dels trens poden patir falles o sobreescalfaments. Per tant en cas de traçats que exigeixin pendents molt persistent, els valors de rampa màxima queden limitats. Les especificacions anteriorment citades concreten els valors límit de rampa segons la seva longitud per vies d'alta velocitat:

- Rampa màxima de 25‰ → Longitud de rampa de 10 km.
- Rampa màxima de 35‰ → Longitud de rampa de 6 km.

No es sobrepassen aquests valors en cap cas.

5.1.1.4. Obra civil

Són aquelles construccions que permeten superar els obstacles del terreny. Les característiques geomètriques d'alta velocitat, que exigeixen elevats radis de corba, suposen la construcció d'un gran nombre d'obres civils, en comparació a les vies convencionals.

5.1.1.4.1. Passos superiors, inferiors i a nivell

El disseny dels passos superiors i inferiors per les línies de velocitat segueixen els mateixos valors dimensionals que les línies convencionals per a circulacions ràpides.

Taula 11. Exigències dimensionals en passos superiors i inferiors [30].

<i>Tipus de línia</i>	<i>Gàlib al pas superior (m)</i>	<i>Secció de plataforma al pas inferior (m)</i>
Convencional ($v \leq 140 \text{ km/h}$)	6,5	10
Convencional ($v \approx 160 \text{ km/h}$)	7	12,8
Alta velocitat	7	12,8

Està prohibida l'existència de passos a nivell per ambdós tipus de línia. És obligatori el tancament lateral de la línia quan en aquesta es preveuen circulacions a més de 200 km/h.

5.1.1.4.2. Ponts i viaductes

Els ponts de ferrocarril són estructures molt rígides que han de suportar càrregues molt elevades degudes a la superestructura de la via, i sobrecàrregues d'elevada intensitat produïdes pel pas de les circulacions sobre ella. No només cal considerar les forces verticals, com als de carretera, sinó que els pont de ferrocarril han de suportar eventualment forces horitzontals d'elevada magnitud provinents dels efectes d'interacció via-tauler, del frenat i l'arrencada, les forces sísmiques i el vent.

En el cas de línies amb velocitat de projecte major a 220 km/h es considera que podran circular trens tant a velocitats superiors com inferiors a aquest límit, fet pel qual es dimensiona l'estructura per totes les possibles circulacions.

5.1.1.4.3. Túnel

La diferència fonamental entre els túnels de línies convencionals i els d'alta velocitat es troba en la secció transversal, donats els diferents fenòmens físics que es produeixen en el pas del tren pel túnel. Antigament els túnels es basaven bàsicament en el gàlib del material, però amb l'augment de la velocitat apareixen nous criteris de disseny basats en el confort i la seguretat.

Taula 12. Seccions dels túnels en línies segons la velocitat comercial [21].

<i>Tipus de línia</i>	<i>Secció túnel (m^2)</i>
Convencional ($v \approx 160 \text{ km/h}$)	Via única 20-30
	Via doble 40-50
Alta velocitat	Via única 45-50
	Via doble 70-110

5.1.2. Explotació

L'explotació ferroviària la formen el conjunt de sistemes, instal·lacions i agents que garanteixen la circulació de trens amb seguretat i fluïdesa.

5.1.2.1. Subministrament i captació energètica

El subministrament energètic és el subsistema encarregat de distribuir l'energia de la xarxa pública per alimentar la línia ferroviària. El subsistema de captació permet la transmissió energètica al material mòbil mitjançant l'electrificació.

5.1.2.1.1. Electrificació

El sistema de captació energètica en tota línia d'alta velocitat es basa en l'electrificació de la catenària.

Una catenària d'alta velocitat és una línia elèctrica que subministra als motors del tren potències molt elevades mitjançant el fregament d'una pletina conductora a velocitats molt altes.

Les tensions d'electrificació a les línies convencionals dels diferents països d'Europa prenen valors molt diferents, constituint una de les principals restriccions a la intercirculació ferroviària.

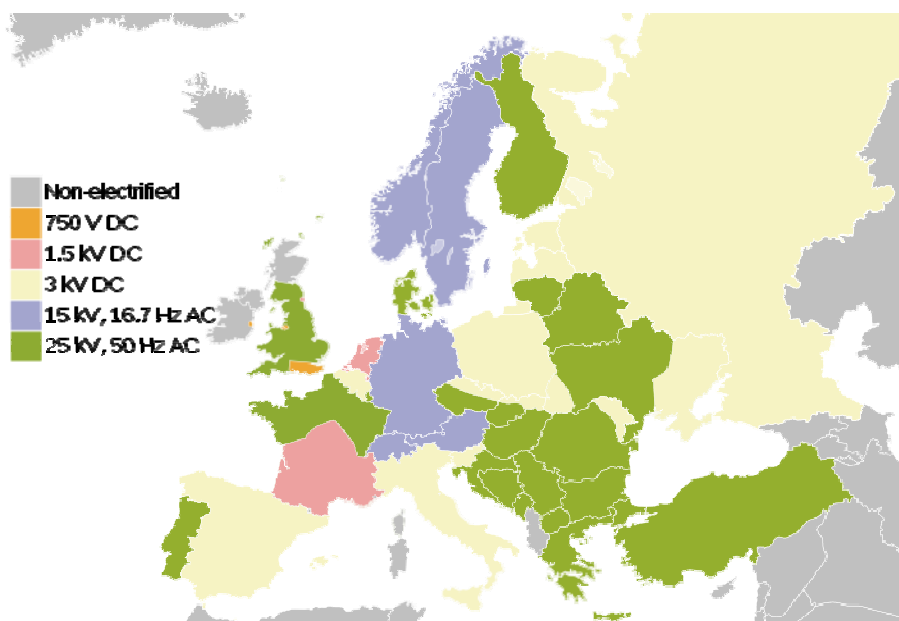


Fig. 20. Electrificació de la xarxa ferroviària principal dels diferents països d'Europa [46].

És per això que des dels inicis de l'alta velocitat s'apostà per sistemes d'electrificació comuns a totes les línies, basat en la corrent alterna, majoritàriament a 25kV i 50 Hz a excepció d'Alemanya que utilitza 15 kV a 16,7 Hz.

5.1.2.1.2. Distribució i alimentació d'energia a la línia

L'alimentació energètica de la línia de ferrocarril s'efectua a través de la construcció d'una sèrie de subestacions elèctriques connectades a les xarxes públiques trifàsiques d'alta tensió (de 220 kV o 400kV), que la redueixen als valors apropiats per a la distribució a la catenària.

En funció de la infraestructura de línies al territori varia el número de línies a construir, segons la potència existent. El sistema de transport de potència determina el número de subestacions a instal·lar:

- *En el sistema 1x25 "simple"*: s'alimenta la línia amb un transformador monofàsic de 25 kV, mitjançant una connexió bifàsica en el qual una fase alimenta la catenària i l'altra els carrils i terra.
- *En el sistema 2x25 "doble"*: un transformador de 50 kV alimenta una tensió trifàsica uns autotransformadors que converteixen en 25 Kv monofàsica.

Una característica que distingeix l'alimentació de la línia en corrent alterna és que la catenària s'alimenta solsament per un cantó, i no per dos com en corrent continua. Això es deu al fet que cada subestació alimenta la línia amb una fase diferent, de manera que si s'alimentés pels dos cantons un tram de la catenària es produiria un curtcircuit. Per evitar aquesta situació aproximadament a la meitat del trajecte es presenta una zona morta, de longitud aproximada entre 300 i 500 m, que resta sense tensió i els trens circulen per inèrcia. La zona morta també existeix quan a la línia coexisteixen dos sistemes d'electrificació diferents, i cal que estigui degudament senyalada. Estan sempre situades en zones planes per evitar la pèrdua de velocitat dels trens.

La funció principal d'aquest subsistema és assegurar que la línia sigui capaç de conduir l'energia necessària sense escalfaments excessius dels conductors mantenint una tensió al pantògraf. D'acord amb la ETI ha de ser, per una línia de 25kV, sempre superior a 19kV en condicions normals i entre 17kV i 19 kV en condicions degradades durant un període no superior als 2 min.

5.1.2.2. Gestió de la circulació

Els principis de la gestió ferroviària són el bloqueig, la senyalització i el control.

5.1.2.2.1. Bloqueig

És la reserva d'un tram de via anomenat cantó per la circulació ferroviària, evitant que un segon tren pugui envair-lo mentre el primer no hagi superat aquesta distància. L'objectiu del bloqueig és doncs garantir la seguretat de la circulació dels trens per la mateixa via, mantenint entre ells una separació necessària.

Formen el bloqueig tots aquells procediments que serveixen per evitar el solapament o xoc dels combois reservant cada tram de la via per un únic tren, fet que assegura el circuit de via, que és el sistema elèctric que permet detectar la presència d'un tren en un tram de via concret. No són funcions del bloqueig la regulació del tràfic, l'actuació sobre els aparells de via ni qualsevol altre aspecte de l'explotació ferroviària, si bé en els sistemes de seguretat moderns, el bloqueig s'hi pot trobar integrat.

Un circuit de via és un circuit elèctric o electrònic que serveix per saber si hi ha trens en un tram de via determinat. S'utilitza normalment per actuar sobre els senyals i evitar que un tren accedeixi al cantó si aquest és utilitzat per un altre tren. El circuit es realitza creant una diferència de potencial entre els dos carrils. A l'entrar un tren en un circuit de via, les rodes metàl·liques curtcircuiten els carrils i aquest curtcircuit és detectat per un relé. Aquest relé informa a la resta dels sistemes connectats a ell que el circuit de via es troba ocupat. Quan el tren surt del circuit de via, les rodes deixen de curtcircuitar els rails i el circuit es torna a considerar com a lliure. En el cas dels bloquejos, els circuits de via coincideixen amb els cantons i indiquen si els cantons estan o no ocupats.

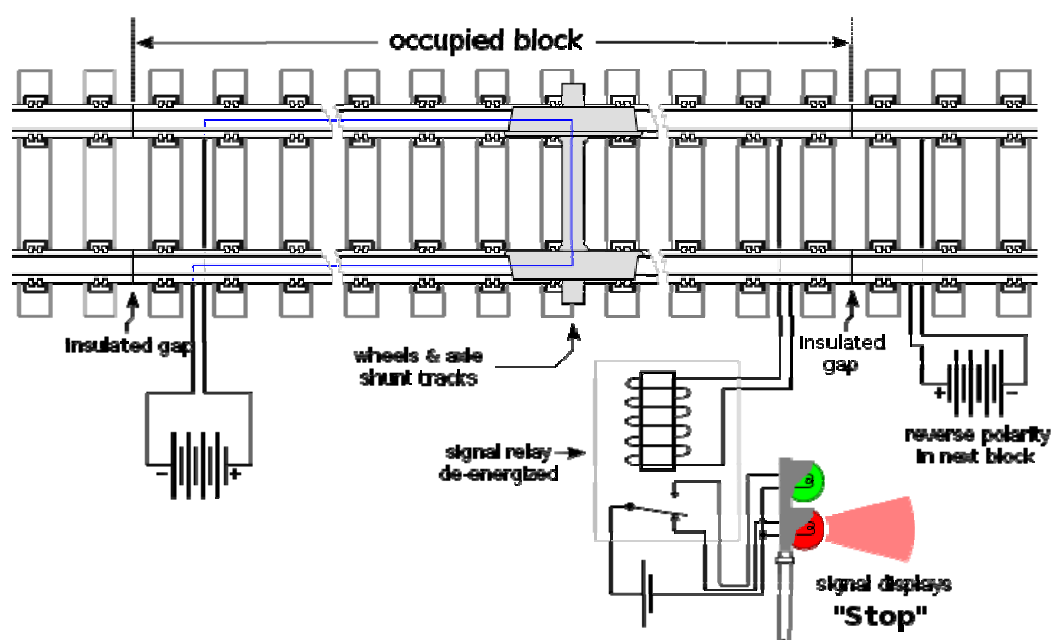


Fig. 21. Esquem del circuit de via [47].

En les línies actuals predomina el bloqueig automàtic, si bé en algunes vies de poc tràfic s'utilitza encara el telefònic, però no serà d'estudi en aquest treball. Amb el bloqueig automàtic s'actua sobre les senyals per reservar la via través d'un sistema automàtic, sigui quin sigui (elèctric, electrònic o informàtic).

En alta velocitat els sistemes de bloqueig es troben integrats amb els sistemes de control-comandament, que s'estudien a continuació.

5.1.2.2.2. Senyalització i control-comandament de trens

El sistema de senyalització ferroviària té l'objectiu de garantir la seguretat de la línia i la regularitat de la circulació. És un dels factors més determinants de la capacitat ferroviària de la línia.

Els sistemes de senyalització en línies d'alta velocitat són completament diferents dels de les línies convencionals, donat que per velocitats superiors a 200 km/h el maquinista no és capaç de visualitzar les senyals col·locats als costats de la via. Per això el mètode utilitzat en les LAV es basa en la transmissió d'informació (continua o discreta) a través dels carrils a la cabina del tren, on es mostra al maquinista.

Per l'aplicació d'aquests principis s'han desenvolupat diversos sistemes de transmissió d'informació via-màquina, diferenciats essencialment entre els sistemes que utilitzen el carril per transmetre la informació, com el francès TVM o els sistemes que utilitzen un cable situat a l'eix de la via, com l'alemany LZB.

- **Sistemes preexistents de control-comandament de trens**

Els sistemes de gestió de tràfic han sigut dissenyats, explotats i mantinguts a nivell nacional, suposant un obstacle més a la explotació transfronterera del ferrocarril. Els anomenats sistemes de control-comandament preexistents presenten enormes diferències.

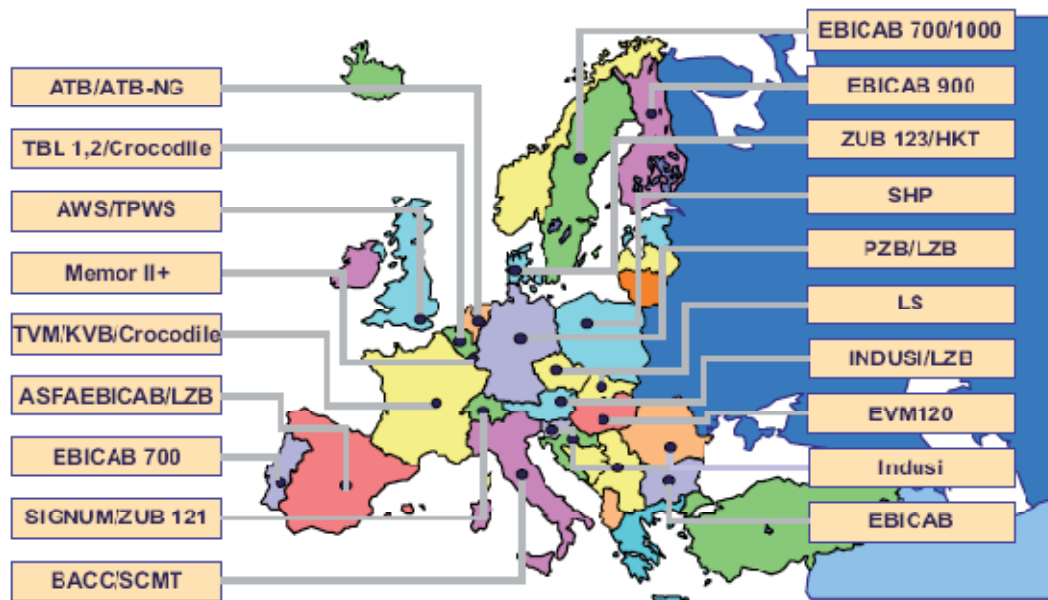


Fig. 22. Sistemes preexistents de control-comandament a Europa. Font

Es descriuen breuement alguns dels sistemes:

- *ASFA (Anuncio de Señales y Frenado Automático)*: sistema de seguretat de conducció assistida propi de la xarxa ADIF. Està compost per una sèrie d'equips instal·lats a la via, els emissors, i al tren, els receptors. Quan el tren passa per una balisa es transmeten els estats de les senyals dels següents cantons al vehicle, de manera que el maquinista rep la informació, qui l'ha de confirmar. En cas que no es produeixi el reconeixement de la lectura de la balisa, o el règim de circulació no s'adeqüi a les condicions imposades per la senyal, l'equip ASFA ordena automàticament la detenció del tren a través del fre d'emergència.
- *TVM (TrasmisionVoie-Machine)*: Sistema de control de trens utilitzat en les LAV franceses. A part de la supervisió de la velocitat, transmet contínuament informació.
- *LZB (Linienzugbeeinflussung o influència lineal del tren)*: sistema de seguretat de control de tràfic ferroviari utilitzat en certes línies d'alta velocitat d'Alemanya, Àustria i Espanya. Els rails de les línies que utilitzen el LZB s'equipen de dos cables emissor-receptor que transmeten contínuament dades a unes antenes incorporades a la base del tren. El lloc de comandament central rep aquesta informació permetent així que des del tren es conegui l'estat de la línia en tot moment. Les dades rebudes generen les instruccions de trànsit al maquinista i la resta d'equips del vehicle, i són reenviades a la xarxa perquè puguin ser captades per la resta de trens que transiten.

5.1.2.2.3. Sistema European Rail Traffic Management System (ERTMS)

És el sistema impulsat per la Unió Europea amb l'objectiu d'augmentar la interoperativitat del ferrocarril. Està desenvolupat per la UNISIG (Union Industry of Signaling) i la UIC. El constitueixen dos components: l'ETCS (European Rail Traffic Management) i el GSM-R (Global System Mobile Railway).

L'ETCS realitza el control de les circulacions, i s'ha dissenyat per ser utilitzat per qualsevol categoria de trens i infraestructures. Disposa per defecte d'un nivell degradat:

- *ETCS Nivell 0*: per a situacions poc corrents, utilitzat per aquells trens equipats amb ETCS que circulen per una línia que no en disposa o per alguna raó (obres, manteniment...) no estan disponibles. Permet la circulació del tren encara que l'equip embarcat no sigui compatible amb el sistema de senyalització, utilitzant senyalització externa. En aquest nivell la velocitat es veurà limitada per l'administració ferroviària nacional, si bé en aquest estat degradat el sistema no permet superar els 100 km/h.

En operació normal existeixen tres nivells, d'ús adequat segons la capacitat de línia:

- *ETCS Nivell 1*: s'utilitza en línies de moderada densitat de tràfic. Les autoritzacions de moviment es generen a l'equip de via LEU (Lineside Electronic Unit) i es transmeten als trens a través de les eurobalisses. Les balises són dispositius per l'intercanvi de dades entre la via i el tren, formades per un emissor de senyals electromagnètiques que són recollides per un captador situat al vehicle ferroviari.



Fig. 23. Eurobalisa instal·lada en via [48].

L'equip ETCS no coneix la identitat del tren, únicament elabora informació que rebran aquells trens que disposin de sistema embarcat EVC (European Vital Computer). El punt feble d'aquest nivell és que en cas de llegir una senyal de detenció, per poder arribar a llegir la següent senyal el tren haurà d'avançar a una velocitat d'aproximació anomenada Release Speed, caient la responsabilitat de l'ús del sistema per complet sobre el conductor.

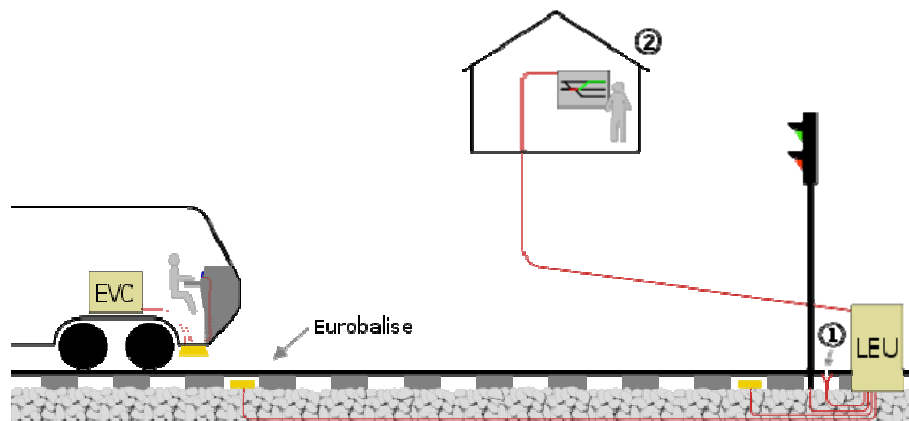


Fig. 24. Principi de funcionament del ETCS nivell 1 [48].

- *ETCS nivell 2*: és un sistema de control de ferrocarrils amb transmissió continua per radio. El RBC (centre de bloqueig per raió) coneix individualment cada un dels trens que circulen dins la seva àrea d'influència sota el control ETCS. La senyalització lateral deixa de ser necessària. Les eurobalisses s'utilitzen com a referència en el posicionament dels trens.

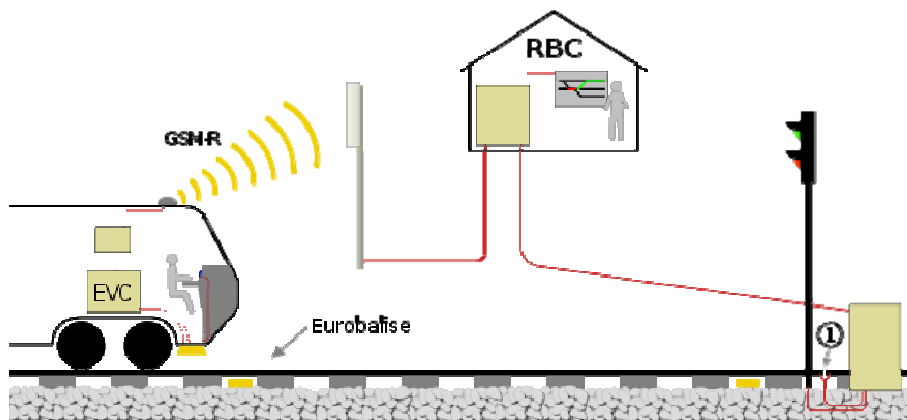


Fig. 25. Principi de funcionament del ETCS nivell 2 [48].

- *ETCS nivell 3*: És el nivell que permet màxima capacitat, ja que es basa en els cantons mòbils, però encara no es troba operatiu.

L'ús de l'ETCS comporta una reducció dels intervals entre trens:

Taula 13. Velocitats màximes i intervals entre trens segons el sistema de seguretat [16].

<i>Sistema de seguretat</i>	<i>Velocitat màxima de pas del tren (km/h)</i>	<i>Interval entre trens</i>
ASFA	220	8'
ETCS nivell 1	300	5'30''
ETCS nivell 2	350	2'30''

El GSM-R en canvi, s'encarrega la de la transmissió de veu i dades entre el tren i les instal·lacions fixes. És un sistema similar als GSM, tot i que utilitza bandes de freqüències separades i proporciona serveis exclusius de l'àmbit ferroviari, com les trucades de grup, les trucades d'emergència, la numeració funcional, etc.

5.1.2.2.4. Centres de control de tràfic

L'explotació d'una línia d'alta velocitat se supervisa des dels centres de regulació i control de tràfic (CTC), on es disposa d'una sèrie de panells que visualitzen la línia. Els agents implicats són l'anomenat personal de circulació:

- Cap de Circulació, que dirigeix la circulació
- Agent de circulació, que assegura la circulació aplicant les ordres del Cap de circulació mitjançant les normes reglamentàries
- Agent de maniobres, s'encarrega de l'accionament de les agulles, la realització de maniobres aplicant les ordres del Cap de circulació mitjançant les normes.

A les línies que disposen de CTC (control de tràfic centralitzat) el control de les dependències s'efectua des d'un mateix centre de control a distància, fet pel qual les estacions de viatgers poden operar sense personal de circulació. A les línies que no disposen de CTC el personal de les estacions controla els enclavaments de les seves vies per determinar l'itinerari dels trens que hi circulen, tot i que hi pot haver estacions telecomandades, és a dir que una altre estació en controli els enclavaments, fet que n'evita la presència de personal de circulació.

5.1.2.2.5. Capacitat

La capacitat és el número possible de serveis ferroviaris que poden circular per una línia en un determinat període de temps. És doncs un paràmetre indicador del rendiment de la línia, resultant de diversos factors interdependents (UIC 2004):

- *Número de trens per temps*: a major intensitat de tràfic, menor capacitat ofereix la línia.
- *La velocitat mitjana*: a major velocitat mitjana de les circulacions, majors són les distàncies de frenat i menor la capacitat resultant a la línia.
- *Estabilitat de marxa*: el retard d'un trens provoca retards en els serveis següents, fet que elimina part de la capacitat que podria mantenir la línia.
- *Heterogeneïtat de tràfic*: a major diversitat de tràfic, més heterogeneïtat de velocitats i per tant, menor capacitat.

El balanç de capacitat queda il·lustrat en el següent gràfic, on els eixos els formen cada un dels factors anteriors. La capacitat variarà segons el tipus d'explotació (mixta o exclusiva), i segons la predominança de cada factor.

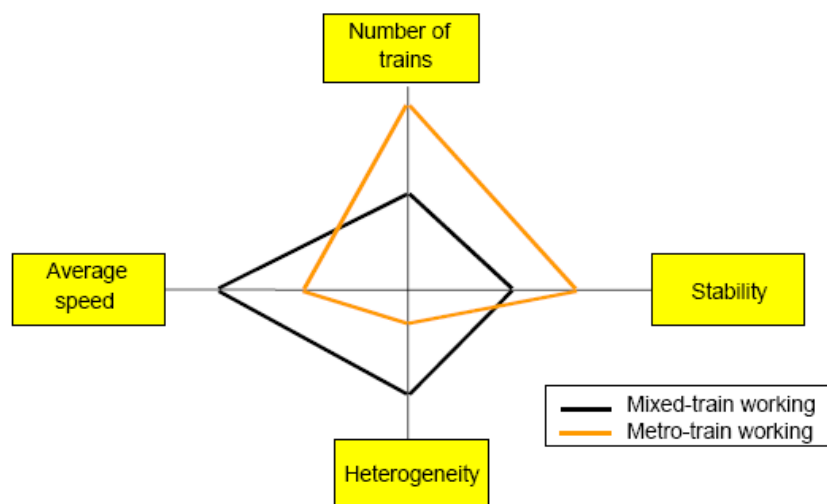


Fig. 26. Balanç de capacitat [26].

La naturalesa de la infraestructura i la demanda comercial estableixen les prioritats operatives de la línia, que fixen un cert valor de capacitat. A les línies d'alta velocitat els factors de la capacitat són les altes velocitats mitjanes, la homogeneïtat i l'estabilitat dels serveis. El número de trens pot variar segons la demanda concreta, sent aquesta la variable més determinant en el valor de la capacitat restant de la línia.

Per estudiar la capacitat de la línia la UIC proposa la següent expressió:

$$k = A + B + C + D \quad (5.3)$$

On:

- k : temps total consumit (min)
- A : temps d'ocupació de la infraestructura (min)
- B : temps de tamponament (min)
- C : temps afegit en cas de via única (min)
- D : temps afegit per manteniment (min)

A partir d'aquí es pot calcular el consum de capacitat (en %):

$$K = \frac{k}{U} \cdot 100 \quad (5.4)$$

On U és la franja de temps escollida (min). Els valors límits que recomana la UIC, en funció de la experiència en diverses línies, pel consum de capacitat:

Taula 14. Valors límits per la capacitat consumida [26].

	<i>Hora punta</i>	<i>Al llarg del dia</i>
Línia de rodalies	85%	70%
Línia d'alta velocitat	75%	60%

A partir d'aquests resultats es pot establir un ordre de magnitud de les capacitats màximes que presenta una infraestructura garantint la qualitat màxima de l'exploació:

Taula 15. Ordre de magnitud de la capacitat màxima de la infraestructura [3].

<i>Tipus de via</i>	<i>Sistema de bloqueig</i>	<i>Nº de trens per dia</i>
Única	Telefònic	26 - 60
	Elèctric manual	30 - 70
	CTC	60 - 80
Doble	Entre estacions	100 - 150
	Automàtic lluminós	220 - 270
	Banalització	300 - 350

5.1.2.3. Material rodant

La circulació a altes velocitats exigeix la construcció de material rodant amb elevades prestacions i característiques determinades. Els paràmetres més importants són:

- **Velocitat màxima**

La velocitat màxima comercial depèn tan del propi tren (disseny dels components, potència màxima, aerodinàmica), com de les condicions de la infraestructura i els sistemes d'exploatació de la línia. Per tal que un tren pugui circular a una determinada via a unes velocitats màximes donades, cal que se l'homologui i superi tot una sèrie de normes per aquest fi.

- **Potència**

Donat que el desenvolupament de la xarxa ferroviària d'alta velocitat a cada país es produeix de forma progressiva, és habitual que els trens circulin tant per línies de nova construcció d'altres prestacions com per línies convencionals on la velocitat és inferior, fet que obliga a instal·lar diferents sistemes de captació energètica. S'indica que la potència assolida amb electrificació de 1,5 kV en corrent continu assoleix valors màxims de 3700 kW, equivalent a una velocitat de 200 km/h, amb 3 kV s'arriba als 5160 kW i 220 km/h, mentre que amb 15kV i 25 kV de corrent alterna, la potència s'eleva fins els 8800 kW i velocitats màximes de 300-350 km/h.

- **Pes no suspès**

Per tal de disminuir les sobrecàrregues dinàmiques verticals sobre la via es redueix el pes no suspès dels vehicles, que és el pes que actua directament sobre la superfície del carril sense interposició de cap element elàstic.

Taula 16. Diferència del pes suspès entre trens convencionals i alta velocitat [1].

Tipus de tren	Pes no suspès per roda (t)
Locomotora convencional	1,5 - 1,6
Tren d'alta velocitat	0,7 - 0,8

- **Empat dels bogis**

La circulació a alta velocitat per damunt d'un valor denominat velocitat crítica produeix l'increment brusc dels desplaçaments laterals del bogi sobre el carril, condicionant l'estabilitat del tren. S'ha observat que a major empat de bogi, més elevada és la velocitat crítica. Així, els trens més ràpids instal·len bogis amb eixos més allunyats.

- **Pes total**

El pes del comboi depèn en primer lloc de la seva longitud, que alhora la determina el número de cotxes acoblats. L'operador ferroviari estableix la longitud dels trens en funció de la demanda de cada trajecte.

Són també determinants del pes les característiques de disseny de cada material com ara la distribució entre pes suspès i no suspès, els materials utilitzats, entre altres.

5.1.2.4. Estacions

Són totes aquelles dependències ferroviàries que permeten l'inici, final o modificació dels recorreguts dels trens, mantenint la seguretat i capacitat de la línia.

5.1.2.4.1. Estacions de viatgers

Les estacions de viatgers d'alta velocitat estan formades per una platja de vies on es permet l'avançament dels trens estacionats. En diverses ocasions realitzen la mateixa funció que un PAET, permetent que els trens sense parada circulin per la via principal sense haver de reduir la seva velocitat mentre el tren que efectua parada resta aturat a una andana apartada.

5.1.2.4.2. Punts d'apartat i avançament de trens (PAET)

Els punts d'apartat i avançament de trens són vies que es desvien paral·lelament del traçat principal durant una certa longitud fins a tornar-s'hi a incorporar. Es fa imprescindible la instal·lació de punts d'avançament en aquelles vies operades per trens amb diferents nivells de velocitat, per tal que els més ràpids no hagin de reduir els temps de viatge per la presència dels lents.

El número de PAET en una línia d'alta velocitat està molt influenciat pel seu tipus d'explotació, de manera que si només circulen viatgers la distància dels PAET consecutius sol variar entre 60 i 100 km. Si es tracta d'una explotació amb tràfic mixt, la distància es redueix a uns 20/30 km, fet que repercuteix en gran mesura als costos de construcció i conservació de la línia.

5.1.2.4.3. *Punt de banalització (PB)*

Conjunt d'instal·lacions que tenen com a missió permetre, mitjançant els corresponents escapaments protegits per senyals, el canvi de via de circulació dels trens. Un punt de banalització es pot utilitzar normalment per a facilitar l'avançament de trens lents per part de ràpids evitant l'aturada dels primers. En aquest cas el ràpid, que circula inicialment per sentit preferent de la línia, canvia en el PB a la via anomenada banalitzada, i atrapa en paral·lel al lent. Una vegada superat l'avançament i quan es torni a trobar un nou PB, el ràpid retorna a la via original. En alguns trams també es fa necessari permetre la circulació de trens per la via contrària a l'establerta degut a incidents a la circulació o treballs de manteniment. En qualsevol cas, la banalització exigeix dotar a les vies amb equips de senyalització que permetin la circulació segura dels trens en qualsevol sentit, convertint-se aquestes en vies banalitzades.

Un PB aporta doncs, un aprofitament integral de la infraestructura, flexibilitat d'explotació per adaptar-se a tot tipus de necessitats i situacions. Es considera necessària la banalització en aquelles línies amb:

- Número de circulacions diàries entre 350 i 400 trens.
- Predomini de tràfics en un sentit.
- Presència de trens de viatgers i mercaderies circulant amb diferències significatives de velocitat.

5.1.2.4.4. *Canviador d'ample*

Els canviadors d'ample són instal·lacions que permeten la continuïtat dels trens per vies de diferent ample. Estan situades al punt de connexió de les línies amb ample de via diferent, i en el pas dels vehicles s'encarreguen de modificar-ne (allargar o escurçar) l'ample dels eixos de les rodes, els quals disposen d'uns mecanismes especials que ho permeten.

Són utilitzats preferentment en aquelles estacions transfrontereres de països amb xarxes d'amples diferents, sent en aquests casos l'única solució que en permet el pas dels trens sense fer necessari el transbordament o la modificació de la infraestructura. Requereixen trens especialment dissenyats amb eixos d'ample variable, i normalment les tecnologies són incompatibles entre trens de diferents fabricants.

5.1.2.4.5. Bifurcació

Les bifurcacions són aquells desviaments ferroviaris que enllacen diferents ramals de via, ja sigui entre dues línies, entre una estació de viatgers i un bypass, etc.

5.1.3. Manteniment

En una línia en servei existeixen tres objectius importants pel que respecta a la seva conservació:

- 1) L'estructura ha d'estar configurada de manera que els trens que hi circulen no causin una excessiva contaminació ambiental, contaminació sonora i vibracions.
- 2) El cost total de la vida de la via ha de ser el més baix possible.
- 3) El manteniment de la línia ha de ser el més baix possible i menys costós possible dins els paràmetres de seguretat i qualitat establerts per les normatives.

5.1.3.1. Manteniment de la via

El manteniment té com a objectiu la prevenció i correcció dels defectes en la geometria de la via causats pel tràfic circulant, i detectats i avaluats pels sistemes d'auscultació.

5.1.3.1.1. Qualitat geomètrica de la via

Les línies ferroviàries han de satisfer uns requisits de qualitat geomètrica per tal d'efectuar les circulacions en condicions de confort i seguretat. Els paràmetres que defineixen la qualitat de geometria de la via són:

- *Alineació*, determinada per la projecció del fil director definit al projecte. Afecten al moviment transversal o de llaç dels vehicles.
- *Anivellació longitudinal*, cota de la superfície de rodament d'una via referida a un pla de referència. Afecten al moviment de galop del vehicle.
- *Anivellació transversal*, diferència de cota entre les superfícies de rodament dels dos carrils de la via, equivalents al peralt. Afecten al balanceig del vehicle.
- *Alabeig*, distància entre un punt de la via i el pla format per uns altres tres punts. Afecten al risc de descarrilament del vehicle.

Aquests paràmetres es tradueixen en una sèrie de toleràncies geomètriques que el conjunt via no pot superar, si se'n vol mantenir la qualitat. En alta velocitat les exigències de les toleràncies són molt majors a les línies convencionals:

Taula 17. Diferència entre les toleràncies geomètrica d'una línia convencional i una d'alta velocitat, en mil·límetres [30].

<i>Tipus de línia</i>	<i>Alineació</i>	<i>Anivellació longitudinal</i>	<i>Anivellació transversal</i>	<i>Alabeig</i>
Línia convencional	±5	±5	2-3	±5
Línia d'alta velocitat	3,5	2,5	1,5	2

5.1.3.1.2. Deteriorament de la via

El deteriorament de la via depèn de la intensitat de circulació, del tipus d'explotació, de la velocitat de circulació, de les càrregues per eix, de les característiques constructives i estat de conservació de cada vehicle, i de les característiques constructives de la via i l'estat de la seva qualitat geomètrica.

De tots els elements que formen la infraestructura el balast és el que major intervenció té en els processos de deformació causants del deteriorament de qualitat de la via. Una quantitat excessiva d'operacions de bateig accelera la degradació del balast, i per tant deixa de ser efectiva a llarg termini.

5.1.3.1.3. Control de la línia

El control sobre la infraestructura es centra en dos punt essencials, que assegurin la permanència de la qualitat de la línia:

- Bon estat de tots els elements de la superestructura
- Conservació de la geometria de la via

Si bé pel primer cas es realitzen revisions a simple vista, el control de la geometria exigeix del procés d'auscultació. Existeixen tres mètodes d'auscultació, la geomètrica, basada en la medició directa de la geometria de la via, la dinàmica, en què es mesuren les acceleracions a l'interior del vehicle de mesura i la ultrasònica. En tots dos casos, a partir de les mesures efectuades es quantifiquen els defectes per la diferència que s'obté amb la geometria real del paràmetre geomètric observat i el teòricament perfecte.

La decisió d'intervenció depèn principalment de tres tipus de quantificadors estadístics, el valor mitjà i la desviació estàndard per la qualitat geomètrica de la via i els valors extrems pels defectes puntuals.

A partir dels registres obtinguts per cada paràmetre, els diferents defectes poden ser classificats en funció de si es consideren valors que exigeixen l'intervenció o En aquest sentit la fitxa UIC 518 estableix els criteris recomanables per a definir la qualitat de la via per cada interval de velocitats màximes. Es determinen tres nivells de qualitat:

- $QN1$: valor del defecte que implica una vigilància de la seva evolució
- $QN2$: valor del defecte que obliga a efectuar operacions de conservació a curt termini
- $QN3$: valor del defecte no desitjable.

La freqüència de control variarà segon el desgast previst de la línia, i per tant, del volum i tipus de tràfic i del material rodant circulant. La fitxa 714 de la UIC classifica les línies amb el tràfic fictici, una variable dependent del tràfic i el pes d'aquest, resultant de l'efecte que cada un dels diferents tipus de tràfics circulants, ja siguin de viatgers, mercaderies, o mixta, tenen sobre ella.

$$T_f = S_v(T_v + k_t \cdot T_{tv}) + S_m(k_m T_m + k_t \cdot T_{tm}) \quad (5.5)$$

On la primera part del sumant depèn del tràfic de viatgers i la segon del tràfic de mercaderies.

- S_v, S_m : paràmetres que depenen de la velocitat de circulació dels trens de viatgers i de mercaderies a la línia.

Taula 18 Coeficients S_v i S_m pel càlcul del tràfic fictici [27].

Velocitat del tren (km/h)	Coeficients S_v i S_m
$v < 60$	1
$60 < v < 80$	1,05
$80 < v < 100$	1,15
$100 < v < 130$	1,25
$130 < v < 160$	1,35
$160 < v < 200$	1,40
$200 < v < 250$	1,45
$v > 250$	1,50

- T_v, T_m : tràfic del material remolcat de viatgers i mercaderies, mesurat en tones mitjaneres diari de cotxes de viatges i vagoners de mercaderies respectivament.
- T_{tv}, T_{tm} : tràfic del material propulsor de viatgers i mercaderies, mesurat en tones mitjaneres diari de locomotores que arrosseguen trens de viatges i trens de mercaderies respectivament.
- k_t, k_m : paràmetres que quantifiquen l'agressivitat de sobre la via dels eixos de les locomotores de viatgers i mercaderies i dels vagoners de mercaderies respectivament. S'adopten els següents valors:

Taula 19. Caracterització del paràmetre k_t sobre el material tractor de passatgers i mercaderies [27].

Potència de vehicle (kW)	k_t		
	<i>Pes/eix < 11t</i>	<i>20 > pes/eix ≥ 11t</i>	<i>Pes/eix ≥ 20t</i>
≥ 1600	1,4	1,6	1,8
≥ 1100 i < 1600	1,2	1,4	1,6
≥ 500 i < 1100	1,0	1,2	1,4
< 500	0,8	1,0	1,2

Taula 20. Valors del paràmetre k_m [27].

Percentatge de tràfic de mercaderies a la línia	k_m		
	<i>Pes/eix < 20t</i>	<i>20 > pes/eix ≥ 22,5t</i>	<i>Pes/eix ≥ 22,5t</i>
≥ 75%	1,15	1,45	1,45
≥ 50% i < 75%	1,15	1,30	1,45
≥ 25% i < 50%	1,15	1,15	1,30
< 25%	1,15	1,15	1,30

A partir del tràfic fictici obtingut les línies es classifiquen en 6 grups:

Taula 21. Tràfic fictici [27].

T_f (t/dia)	Grup línia
$130.000 < T_f$	1
$80.000 < T_f < 130.000$	2
$40.000 < T_f < 80.000$	3
$20.000 < T_f < 40.000$	4
$5.000 < T_f < 20.000$	5
$T_f < 5.000$	6

A partir del grup la UIC indica unes recomanacions del temps que ha de transcórrer entre dues revisions integrals de la via.

Tot i aquest mètode, cada gestor ferroviari estableix la periodicitat dels diferents controls a realitzar sobre la infraestructura. A títol indicatiu es mostren els períodes de temps entre auscultacions a les línies d'alta velocitat franceses i alemanyes:

Taula 22 Comparativa de les freqüències de control a diferents tipus de línies

Activitat	Alemanya		Itàlia	
	<i>160 < v ≤ 230 km/h</i>	<i>v ≤ 230 km/h</i>	<i>Línia convencional</i>	<i>Línia d'alta velocitat</i>
Inspeccions a peu	3 mesos	2 mesos	2 setmanes	entre 5 i 10 setmanes
Auscultació geomètrica	3 mesos	2 mesos	6 mesos	3 mesos
Auscultació dinàmica	6 mesos	6 mesos	6 mesos	3 mesos
Auscultació ultrasònica	4 mesos	4 mesos	1 any	6 mesos

Normalment però, hi ha revisions de l'estat general de la via diàriament. En el cas de la línia d'alta velocitat Madrid-Sevilla, cada matí, prèvia a l'inici de les operacions comercials, dues locomotores exploren el recorregut per garantir que tot es troba en perfecte estat.

5.1.3.1.4. Operacions de manteniment

Les operacions de manteniment de les línies ferroviàries estan destinades a corregir i prevenir els defectes geomètrics detectats i evaluats en l'auscultació. Les tres operacions que es realitzen amb major freqüència són:

- *Anivellació de via*, que permet corregir els defectes d'anivellació longitudinal i transversal (peralt), i l'alabeig.
- *Alineació de la via*, que permet corregir els defectes d'alineació.
- *Bateig de via*, que consisteix en colpejar el balast per tal d'assegurar el seu correcte posicionament i el de la superestructura. Es realitza sempre que es produeixin desplaçaments del carril.
- *Aixecament de via*. Quan l'anivellació resulta massa defectuosa, s'opta per realitzar l'aixecament de via uns 15 cm, fet que atorga al balast un increment de vida potencial.

La realització d'aquestes operacions exigeix una infraestructura bàsica consistent en les bases de manteniment que tenen diverses funcions com les oficines per a les tasques de gestió i programació, el garatge de vehicles i emmagatzemat d'eines, el taller de material, etc.

En conèixer l'assentament del balast es pot determinar l'interval temporal entre operacions consecutives de bateig en un determinat tram. Shenton (1985) va sintetitzar diver-

sos treballs realitzats per l'ORE (1971), i la British Rail (1976) en una expressió que descriu amb fiabilitat l'assentament del balast:

$$S = \frac{1}{20} K_s A_e [(0,69 + 0,028L)N^{0,2} + 2,7 \cdot 10^{-6}N] \quad (5.6)$$

On:

- K_s : paràmetre relatiu al tipus de via, que depèn de travessa, balast i plataforma. En alta velocitat, $K_s \cong 1$.
- A_e : càrrega per eix equivalent obtinguda mitjançant la següent relació,

$$A_e = \left(\frac{A_1^5 \cdot N_1 + A_2^5 \cdot N_2 + \dots}{N_1 + N_2} \right)^{0,2}$$

- L : aixecament donat durant el bateig.
- N : número total d'eixos.

5.1.3.1.5. Renovació de components

Els elements que formen la via tenen una vida útil durant la qual poden complir correctament la seva funció sense afectar les condicions de seguretat o explotació als serveis ferroviaris. La vida útil es pot determinar per cada component de via de forma independent o per la via en el seu conjunt. La diferent vida útil dels diferents components de via fa que generalment no coincideixi en el temps la necessitat de renovar-los. Així és possible dur a terme la renovació completa mitjançant renovacions parcials en diferents moments temporals, contribuint així a l'allargament de la vida útil del sistema.

La vida útil de cada component depèn de la intensitat d'ús a la que es veu sotmès cada component, les particularitats del disseny, la posta en obra, les condicions climàtiques i la política de manteniment de la via.

- *Carril*: Puebla et al. van quantificar la vida útil del carril UIC-60 en 300 milions de tonelades brutes quan aquest està instal·lat sobre balast, equivalent a uns 30 anys.
- *Travesses*: Puebla et al. van quantificar la vida útil de les travesses en 500 milions de tonelades brutes, equivalents a un període de 30 - 40 anys. Un informe del gestor francès RFF de l'any 2005 concordava amb aquests resultats. Paral·lelament, l'estudi europeu Improverail senyalava que increments de càrrega d'entre 10 a 20 t brutes anuals, partint de tràfics base d'entre 10 i 40 milions de tones brutes, poden reduir la vida útil de la travessa en un 20%.
- *Balast*: Puebla et al. van quantificar la vida útil del balast en 300 milions de tonelades brutes, equivalents a un període de 25-30 anys. La RFF per la seva banda,

estima la vida útil de 20 anys pel balast de la línia d'alta velocitat, i de 30 anys per vies convencionals.

- *Obra civil*: la vida útil dels elements d'obra civil (passos superiors, ponts i túnels) se situa, segons Baumgartner, entre 50 i 100 anys.

S'han realitzat també estimacions de la vida útil per a tot el conjunt. Baumgartner proporciona els intervals entre dues renovacions completes de via en funció del tràfic i el tipus de carril:

Taula 23. Vida útil del conjunt via en funció del tràfic [6].

Tipus de carril	Tones brutes per dia			
	$10 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$	$300 \cdot 10^3$
54 kg/m	30 - 50	15 - 30	8 - 20	-
60 kg/m	-	20 - 30	10 - 25	5 - 14

5.2. Variables de disseny del transport de mercaderies

Es presenten en tres apartats, la tipologia del transport de mercaderies, els agents del transport i el material rodant.

5.2.1. Tipologia de transport de mercaderies

En aquest punt s'analitza el transport de mercaderies per ferrocarril en la seva globalitat, considerant-ne tots els agents involucrats.

5.2.1.1. Transport convencional

En el transport ferroviari clàssic les mercaderies viatgen en vagon adaptats a la naturalesa de la càrrega (cisternes per líquids, vagon específics per cereals o minerals aglutinats, vagon portavehicles, plataformes per ferros longitudinals...), en què durant les operacions de càrrega i descàrrega s'efectua manipulació inevitable de la mercaderia.

- **Transport compacte**

Per a mercaderies compactes, com ara maquinària, peces industrials, perfils metàl·lics, o ceràmics, xapa... s'efectua en vagon plataforma o tancats.

- **Transport de granel**

Conjunt de béns que es transporten sense empaquetar ni embalar en grans quantitats. Normalment són dipositades amb mànegues, pales o catúfols, segons si són líquids o sòlids, en dipòsits adequats a les seves condicions de transport i conservació.

La càrrega sòlida o seca més transportada és el carbó, cereals, fusta, ciment, productes químics (fertilitzants, plàstics granulats, resines en pols, fibres sintètiques...), aliments secs (cítrics, farina, sucre...), material de mina (sorra, grava, coure, ferro, sal...) i especialment minerals de ferro (minerals ferrosos, aliatges, arrabi, ferralla...), etc. La càrrega a granel líquida transporta principalment petroli i derivats (gas natural liquat, gasolina...), productes químics, aliments líquids (olis, suc...), etc.

- **Transport de vehicles**

Les elevades produccions de les factories d'automòbils fan que aquestes disposin de connexió ferroviària pròpia per efectuar el trasllat dels vehicles als distribuïdors. Per mitjançant vagons plataforma especials, fet que converteix aquest transport en sector molt important. A més a més, alguns serveis de passatgers permeten també el transport dels automòbils acoblant vagons al tren, utilitzant la mateixa tecnologia que en transport industrial.

5.2.1.2. Transport intermodal

És el sistema integrat per diferents modes o mitjans de transport, que constitueix una cadena d'origen a destí, sense que hi hagi manipulació de la càrrega. Cadascun dels diferents modes opera en la seva àrea econòmica més eficient segons les condicions de mercat.

La unitat del transport intermodal (UTI) és el contenidor, caixa mòbil o semiremolc adequat pel transport intermodal.

- *Contenidor*: és el recipient de càrrega pel transport intermodal, amb dimensions normalitzades per facilitar-ne la manipulació. Acostumen a estar fabricats d'acer, tot i que també n'hi ha d'alumini i fusta reforçada amb fibra de vidre. L'interior dels contenidors acostuma a disposar recobriments anti-humitat mentre que el terra sol ser de fusta. Els TEU (Twenty-foot Equivalent Unit) és la unitat de mesura de la capacitat del transport marítim en contenidors. Un TEU és la capacitat de càrrega d'un contenidor normalitzat de 20 peus. Per tal de ser considerades normalitzades, les dimensions dels diferents tipus de contenidors han de ser múltiples o submúltiples d'una TEU.
- *Caixes mòbils*: unitat concebuda pel transport de mercaderies en vehicles terrestres, amb dimensions ajustades als vehicles de carretera. Per ser usades amb ferrocarril han d'estar homologades per la UIC. A diferència dels semiremolcs, les caixes mòbils són separables del seu xassís i normalment instal·len equips per dipositar-les sobre quatre potes desplegable.
- *Semiremolcs*: és la part remolcada dels camions, consistent en un bastidor que incorpora eixos de les rodes a la part posterior, frens propis i un sistema de unió mecànica a la tractora, on s'hi recolza. Damunt d'aquest s'hi col·loca la càrrega, continguda en tota mena de formes.

La unió europea defineix com a transport combinat aquell tipus de transport intermodal en què les mercaderies viatgen principalment en tren, via navegable o travessia marítima i amb el mínim recorregut possible per carretera exclusiu en la etapa inicial i la final. El transport combinat es pot agrupar en acompanyat, si viatja el conductor del vehicle de carretera sobre el tren, o no acompanyat quan no viatja el conductor.

El transport de contenidors és la forma de transport intermodal més extesa. En tractar-se de transport combinat, és no combinat. El transport de contenidors per ferrocarril s'efectua a través dels vagons plataforma portacontenidors on es recolzen els TEU's longitudinalment.

5.2.1.3. Transport especial

Aquell tipus de transport que per la naturalesa de la seva càrrega requereix una gestió especial.

- **Transport de mercaderies perilloses**

Les mercaderies perilloses són matèries o objectes que presenten risc per a la salut, per a la seguretat o que poden produir danys en el medi ambient, en les propietats o a les persones. Es classifiquen en diverses classes, des dels materials explosius, gasos inflamables i tòxics, matèries radioactives, etc.

La directiva 96/35/CE indica i aporta les aproximacions de les legislacions dels Estats membres relatives al transport de mercaderies perilloses per ferrocarril. En els seus annexes A i B indiquen les normes que n'autoritzen el transport i estipulen les condicions imposades a cada una de les mercaderies per ser transportades així com aquelles mercaderies que queden excloses del transport ferroviari.

- **Transport de mercaderies especials**

Es consideren especials aquelles mercaderies que amb dimensions o formes concretes que requereixen vagons especials per a ser transportades. És un tipus de transport menys freqüent i regular que els altres, en són exemples el transport de gran maquinària, de metalls fosos, d'aparells de transport, militars, o material de manteniment de la pròpia via.

5.2.2. Agents del transport de mercaderies per ferrocarril

Els principals agents del transport de mercaderies són les estacions i els trens.

5.2.2.1. Estació de mercaderies

Són els punts connectats a la xarxa ferroviària que permeten el maneig de les mercaderies dels trens, disposant d'instal·lacions especialment adequades tant per la seva càrrega

ga i descàrrega com per la seva classificació. Les estacions formen part de la gestió de la circulació ja que tenen capacitat per la rebuda i expedició de trens, i per això han de disposar de desviaments i senyalització. Segons la seva situació respecte la línia ferroviària, poden ser passants (entre la via), o terminals (al final de la via). Estan formades per:

- Parcs de recepció, expedició, estacionament de material, ordenació, formació i descomposició dels trens. Contenen aparells i instal·lacions de via, comunicacions, senyalització, etc.
- Departaments necessaris per l'exploració comercial de la terminal.
- Accessos ferroviaris i viaris a la terminal.

Normalment les operacions ferroviàries es realitzen amb tractors de maniobra, petites locomotores generalment dièlsels, propietat de l'administrador de l'estació, que traslladen els vagons a través de l'estació d'una forma ràpida i versàtil.

5.2.2.1.1. Tipus d'estacions de mercaderies

Es diferencien tres tipus generals d'estacions:

- **Estació de càrrega convencional**

Són estacions més petites que utilitzen tot tipus d'equips o grues de carregament.

- **Estació de càrrega especialitzada**

Són estacions especialitzades en el carregament de materials concrets, normalment grànels o vehicles. Podem diferenciar entre els següents tipus:

- *Estació de carregament de grànels:* aquestes estacions disposen de carregadors, instal·lacions que permeten la càrrega i descàrrega dels vagons. Per la descàrrega dels vagons que no disposen de parets abatibles o comportes a les parts inferiors s'utilitzen equips basculants que en permeten extreure el material per la cara superior.

Fig. 27. Operació de càrrega de carbó a un tren de Coeburn, EUA [49].



Fig. 28. Sistema basculant a Letònia [50].



- *Estació de carregament de vehicles:*
Contenen molls especials en forma de rampa per on es poden conduir els vehicles al vagons.

• Terminal intermodal

Lloc equipat pel transbord i emmagatzemat de UTI's, ja sigui entre vehicles terrestres o vaixells. Estan predominades per una llarga platja de vies de maniobres i càrrega dels vagons de mercaderies, tot i que poden contenir diverses àrees funcionals, des de les grans esplanades on operen els equips d'emmagatzematge o les àrees logístiques generals i de serveis.



Fig. 29. Parts comunes en una terminal intermodal ferrocarril/carretera [51].

Els ports secs són un cas particular de terminal intermodal de mercaderies. Estan situats a l'interior d'un país i disposen d'enllaç directe amb un o més ports marítims, i estan especialitzats en la manipulació de tràgics i càrregues portuàries. La seva àrea funcional principal és la d'intercanvi modal ferrocarril/carretera.

5.2.2.1.2. Connectivitat de l'estació

La localització de les terminals de mercaderies és un dels aspectes més rellevants per determinar-ne la importància i competitivitat. La decisió de l'emplaçament depèn es-

sencialment de les proximitats a les connexions intermodals (bàsicament carreteres i ports) i a les zones industrials on se'n rebin o expedeixin les mercaderies.

També la xarxa ferroviària determina la situació de l'estació, i és que només les grans terminals portuàries, mines, o altres punts d'especial demanda ferroviària, disposen de ramals propis.

5.2.2.2. Tren de mercaderies

Aquest punt se centra en el tren de mercaderies analitzant-ne tot el comboi en el seu conjunt. Tres paràmetres tècnics en determinen la qualitat del transport, la velocitat, la càrrega i la longitud del tren.

5.2.2.2.1. Velocitat comercial

A les xarxes ferroviàries europees els trens de mercaderies generalment tenen una velocitat màxima de 100 a 120 km/h, sent doncs aquesta força més baixa que la majoria de velocitats comercials dels trens de passatgers. Per a grans recorreguts però, l'absència de parades dels mercants generen mitjanes de velocitat força elevades.

La velocitat d'un comboi depèn de diversos factors, com ara la potència de les locomotores, la càrrega transportada, l'estat de la infraestructura i dels vagons, tot i que generalment les velocitats màximes es veuen limitades ja que l'excés de pes comporta llargues distàncies de frenat, fet que per velocitats superiors a 120 km/h, en mercants convencionals es posaria en risc la capacitat de detenció entre la senyal avançada i la principal (veure capítol 5.1.2.2.2). Aquest problema però, desapareix en la utilització dels sistemes de control-comandament ETCS nivell 2.

La velocitat depèn de les característiques de disseny del vagó, i sobretot de la càrrega que transporta. En funció del pes per eix dels vagons, la UIC estableix una recomanació de velocitats màximes.

Taula 24. Velocitat màxima dels vagons segons el pes per eix [2].

Paràmetre	Velocitat màxima (km/h)		
	120	140	160
Pes per eix	22,5	20	18
Càrrega remolcada tren	1600	1400	1200
Longitud tren	700	700	700

5.2.2.2.2. Longitud dels trens

Com reflecteixen les diferents polítiques per a l'impuls del transport de mercaderies per ferrocarril, la tendència és aconseguir augmentar les longituds dels trens. És evident que a major longitud dels trens, major serà la capacitat de càrrega a transportar, i per tant

també l'eficiència del transport. La longitud depèn de diversos factors com la distància de les vies d'apartat o la potència de la locomotora i per tant, la càrrega a transportar.

5.2.2.2.3. Càrrega a transportar

La càrrega remolcable per una locomotora representa un dels paràmetres més importants per determinar la qualitat del transport. Tan pel que fa a la quantitat com a la seva naturalesa, depèn en primer lloc de la infraestructura, amb els valors i longituds de rampa, i les restriccions al transport de certs tipus de mercaderies per qüestions de seguretat o mediambientals. Però també depèn de les característiques de la locomotora.

Cal estudiar doncs les diferents situacions del moviment del tren per determinar quina és la més restrictiva per la càrrega remolcable.

- **Limitació per adherència a l'arrencada**

Es defineix l'adherència com aquell moviment en què la força a la roda transmet al carril una reacció igual en sentit contrari provocant el rodolament.

$$F = \mu P \quad (5.7)$$

On:

- P : pes de roda
- μ : coeficient d'adherència. Depèn de l'estat de la superfície del carril, del moviment que experimenta el vehicle i la velocitat de circulació. Així, el valor del coeficient d'adherència a velocitat v es determina a partir de:

$$\mu_v = \mu_0 \left(a + \frac{b}{v + c} \right) \quad (5.8)$$

On:

- μ_0 = coeficient d'adherència a velocitat nul·la. És característica de cada locomotora, i depèn del tipus de motorització i dels equips electrònics de control de tracció. Així es poden donar coeficients d'adherència de 0,2 per aquelles màquines de motor elèctric de corrent contínua, i 0,4 per aquelles que instal·len motors trifàsics amb equips antipatinatge. La locomotora sèrie 252 de Renfe té un $\mu_0 = 0,37$.
- a, b, c = constants d'ajust que imposa cada administració. Renfe utilitza:

$$\mu_v = \mu_0 \left(0,2115 + \frac{33}{v + 42} \right) \quad (5.9)$$

A l'arrencada l'esforç tractor màxim que la locomotora pot transmetre a la via sense lliscar depèn del coeficient d'adherència a velocitat nul·la:

$$E_{arr} \leq 1000\mu_0 L [kg] \quad (5.10)$$

On:

- μ_0 : coeficient d'adherència a l'arrencada
- L : pes de la locomotora (t)

Les resistències a vèncer al moment de l'arrencada es deuen al pes tractor, remolcat, i al pendent:

$$R_{arr} = (L + Q)(r_a + i) \quad (5.11)$$

On:

- Q = pes del material remolcat
- r_a = resistència específica a l'arrencada (kg/t),
- i = rampa del traçat, en mil·lèsimes

En conseqüència i per tal que el tren no patini a l'arrencada, s'ha de complir:

$$R_{arr} \leq E_{arr} \rightarrow (L + Q)(r_a + i) \leq 1000\mu_0 L \quad (5.12)$$

I d'aquí s'obté la càrrega remolcable màxima a l'arrencada:

$$Q \leq \frac{1000\mu_0 L}{r_a + i} - L \quad (5.13)$$

- **Limitació per adherència a velocitat constant**

Per tal que el tren mantingui adherència durant la tracció s'ha de complir:

$$R_L + r_v Q + (L + Q)i \leq 1000\mu_v L \quad (5.14)$$

$$Q \leq \frac{1000\mu_v L - (R_L - iL)}{r_v + i} \quad (5.15)$$

- **Limitació per l'enganxall de tracció**

La condició de no ruptura de l'enganxall de tracció en el moment de l'arrencada:

$$F_{tr} \geq Q(r_a + i) \quad (5.16)$$

On F_{tr} és l'esforç de tracció màxim de l'enganxall paràmetre de disseny del material rodant. Es pot donar també la limitació a velocitat constant:

$$F_{tr} \geq Q(r_v + i) \quad (5.17)$$

- **Limitació per potència**

Pel cas de tracció elèctrica, l'energia que ha de captar el tren per mantenir la velocitat constant en recta durant una distància d és dedueix de l'esforç a superar la resistència a l'avanç:

$$W_{xarxa} = R_A \cdot d \quad (5.18)$$

Resulta necessari però realitzar el balanç energètic en rampa, per determinar les limitacions en càrrega que hi pugui haver en aquest cas. Aplicant conservació de l'energia entre els extrems de la rampa considerant que la potència de la locomotora augmenta a mesura que el tren puja:

$$W_0 = W_f \rightarrow \underbrace{\frac{1}{2}mv_o^2 + W_{abs}}_{\text{energia a l'inici (cinètica+absorbida)}} = \underbrace{\frac{1}{2}mv_f^2 + m \cdot g \cdot (i \cdot \Delta L) + R_f \cdot g \cdot \Delta L}_{\text{energia al final (cinètica+potencial+resistència avanç)}}$$

On:

- v_o i v_f són les velocitats a l'inici i al final de rampa respectivament.
- m massa del tren.
- ΔL longitud de via, aproximada per la horitzontal donat que la pendent és petita.
- R_f és la resistència a l'avanç al final de rampa (R varia amb la velocitat).

Es poden donar dos casos que condicionen aquest balanç; o be sobra potència perquè el tren pugui pujar a velocitat constant, o be la potència de les locomotores limita la velocitat a la qual s'arribarà a final de rampa. En aquest últim cas el balanç resulta:

$$W_{abs} = \frac{v_f^2 - v_o^2}{2 \cdot 3,6^2} \cdot m + (i + r_o)\Delta L \cdot g \cdot m \cdot 10^{-3} = \frac{Pot \cdot \Delta L}{\frac{v_o}{3,6}} \quad (5.19)$$

5.2.3. Material rodant

El material rodant convencional de mercaderies està format per locomotores i vagon. Els paràmetres de disseny del material rodant:

5.2.3.1. Paràmetres de referència

5.2.3.1.1. Resistència a l'avanç

La fórmula polinòmica de Davis és la més utilitzada pel càlcul de la resistència a l'avanç del material rodant [5]:

$$R_A = A + Bv + Cv^2 \quad (5.20)$$

- A: resistència interna del vehicle, independent de la velocitat [*daN*]
- B: resistència de la interacció amb la via
- C: resistència aerodinàmica
- *v*: velocitat en [*km/h*]

Segons les característiques de disseny i circulació del tren quedaran especificades les tres constants.

La resistència a l'avanç d'un tren de mercaderies s'obté per l'addició de la resistència produïda per la locomotora i els vagon.

$$R_T = R_L + R_{mr} \quad (5.21)$$

- **Material motor aïllat**

La fórmula general de la resistència a l'avanç del material motor [3]:

$$R_L = 0,65L + 13n + 0,01L \cdot v + 0,03v^2 \quad (5.22)$$

On:

- *L*: pes de la locomotora [*t*]
- *n*: número d'eixos locomotora
- *v*: velocitat locomotora [*km/h*]

- **Material remolcat aïllat**

Es mostra el criteri espanyol (Renfe) del francès (SNCF):

$$r_{renfe} = 2 + \frac{v^2}{1600} \quad (5.23)$$

La SNCF diferencia entre els vagons de càrrega al detall, amb velocitats fins a 120 km/h,

$$r_{sncf} = 1,5 + \frac{v^2}{4200} \quad (5.24)$$

i els vagons de tràfic pesat, de velocitats inferiors.

$$r_{sncf} = 1,2 + \frac{v^2}{4000} \quad (5.25)$$

- **Composició sencera acoblada**

Els operadors ferroviaris han desenvolupat formules més precises, partint de les bases matemàtiques anteriors, per determinar la resistència a l'avanç dels seus combois. Continuant amb la comparativa franco-espanyola, a continuació es mostren les expressions utilitzades per dos trens de mercaderies:

- *S252 + vagons de mercaderies:*

$$r = 110,5 + 0,9v + 0,003v^2 + \left(1,5 + \frac{v^2}{4200}\right)m_{vag} \quad (5.26)$$

- *BB26000 + vagons de mercaderies:*

$$r = 1,2 + 0,01v + 2,8 \cdot 10^{-4}v^2 \quad (5.27)$$

5.2.3.1.2. Pes

En el deteriorament de la geometria de via, no només afecta el pes total del vehicle sinó la distribució d'aquest entre el pes suspès i el no suspès com s'ha vist al punt XXX. El pes no suspès és la part del material que actua directament sobre la via, mentre el suspès és aquella part que ho fa per mitjà de d'algun element elàstic com les suspensions, reduint així l'impacte sobre la via.

Les locomotores actuals tenen un pes comprès entre les 80 i 120 t, fet que considerant que el vehicle reposa sobre uns dos o tres bogis, el pes per eix resulta d'entre unes 20 i 23 t.

5.2.3.1.3. Potència

Les potències de les locomotores actuals utilitzades pels tràfics de línia varien entre els 6400 kW i els 4000 kW. Per requeriments de infraestructura o càrrega, se solen utilitzar dues locomotores, fet que comporta assolir valor d'aproximadament el doble de potència.

5.2.3.1.4. Esforç de l'enganxall de tracció

L'esforç de tracció màxim és la força màxima que pot aguantar l'enganxall sense ruptura. És determinant en la càrrega màxima a remolcar pel tren. L'esforç de tracció màxim que ha d'assegurar un enganxall de cargol segons indiquen les ETI, serà de 850 kN.

5.2.3.2. Elements de disseny de locomotores

La locomotora és el vehicle on s'instal·len els equips de transmissió que confereixen la força motriu per poder arrossegar els vagons acoblats. Actualment s'utilitzen locomotores elèctriques amb alimentació per catenària o dièlsels.

5.2.3.2.1. Sistema de tracció

La tracció la realitzen els motors, que transmeten el moviment als eixos de rodament. Els motors que instal·len les locomotores depenen del tipus de tracció, dièsel o elèctrica.

- **Locomotora dièsel**

Es pot diferenciar entre:

- *Dièsel-Mecàniques*: transmeten l'esforç del motor de combustió a les rodes a través d'un embragatge i una caixa de canvis. S'utilitza per locomotores de baixa potència.
- *Dièsel-hidràuliques*: la transmissió s'efectua per l'acció d'una bomba hidràulica connectada a l'eix del motor dièsel, fet que evita l'ús de l'embragatge. S'utilitzen per a maniobres en terminals o en transport de mercaderies.

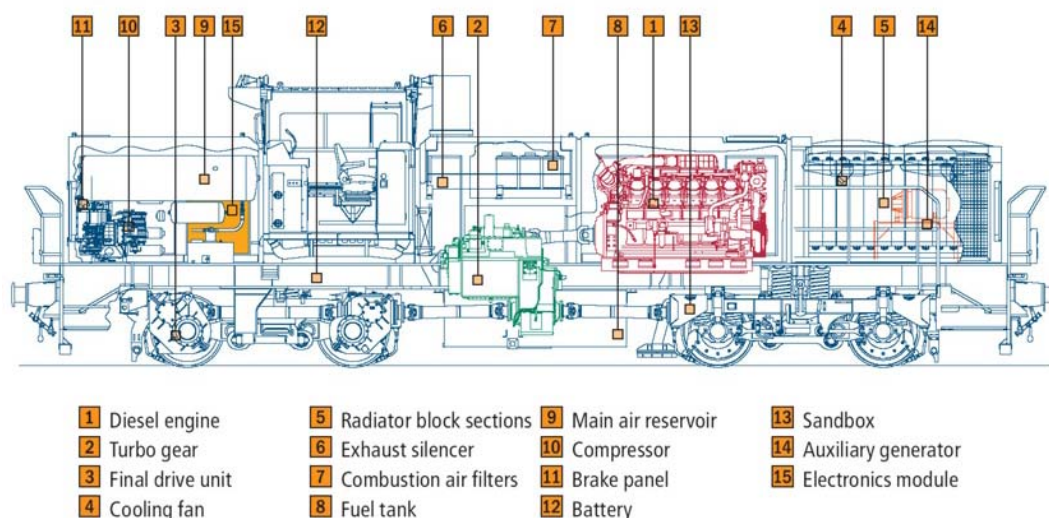


Fig. 30. Esquema de la locomotora Dièsel-hidràulica Vossloh MAK1700 2BB [55].

- *Dièsel-elèctriques*: usades per a locomotores de trens de passatgers o mercaderies. El motor dièsel, que acostuma a ser de dos temps, 12 cilindres en V a 45° i potències d'entre 1000 i 5000 cv, comunica l'esforç a un generador principal, el qual converteix el moviment mecànic a corrent continua o alterna. Aquest corrent alimenta als motors de tracció, normalment col·locats als bogis, que finalment transmeten el gir als eixos a través d'uns engranatges.

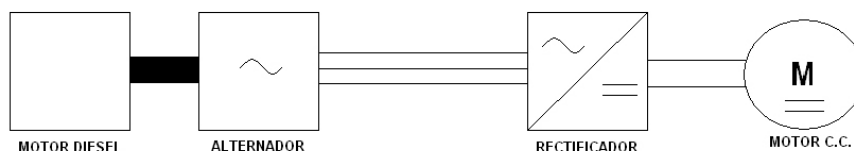


Fig. 31. Esquema d'una locomotora Dièsel-elèctrica [56].

El gran avantatge de les locomotores dièsel és la versalitat que ofereixen al pas per qualsevol tipus de línia ferroviària, sense necessitat d'electrificació. És per això que són molt utilitzades en vies secundàries on no la ocupació de la línia no precisa d'electrificació, en les terminals de mercaderies, per tal de facilitar la lliure circulació a tota la platja i facilitar així les operacions de càrrega, i en les tasques de manteniment i abastiment de construcció d'una nova línia.

• Locomotora elèctrica

El funcionament d'una locomotora elèctrica es pot assimilar a un circuit de tracció, que consisteix en la captació de corrent d'una font energètica per mitjà del pantògraf, que s'utilitza per alimentar un motor de tracció connectat a les rodes, que porten la tracció a la composició.

Pel que fa al motor, se n'usen de tres tipus:

- *Motor de corrent contínua*: regulat variant la tensió i la intensitat. Presenta un gran parell motor a l'arrencada, així com la seva característica par-velocitat s'adapta perfectament als requeriments esforç-velocitat. El rang de tensions d'alimentació d'un motor CC és de 500-1500 V, fet pel qual les línies electrificades a corrent contínua treballen amb valors similars. El principal problema del motor CC és la presència d'elements sotmesos a un gran desgast, com les làmines de coure que formen escombretes.

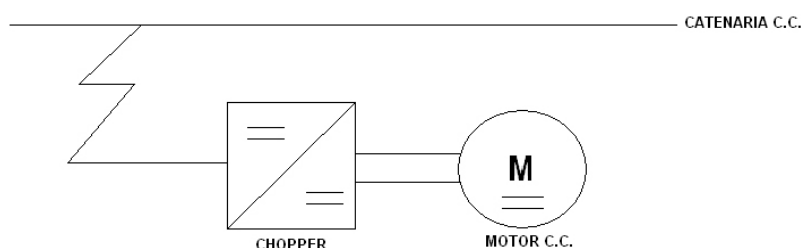


Fig. 32. Esquema elèctric del sistema de tracció per un motor de CC [56].

- *Motor de corrent alterna*, que pot ser síncron o asíncron: regulats variant la tensió i la freqüència. La gran majoria de composicions de nova construcció a partir dels anys noranta utilitza motors asíncrons donada la simplicitat i reduït desgast (funciona fins que es degraden els aïllants. A més a més, és un motor molt robust i resistent, té major fiabilitat i una gran capacitat de sobrecàrrega, un major rendiment energètic, menor pes i volum.

L'equip elèctric de la locomotora varia segons si l'electrificació de la línia és en corrent continu o altern:

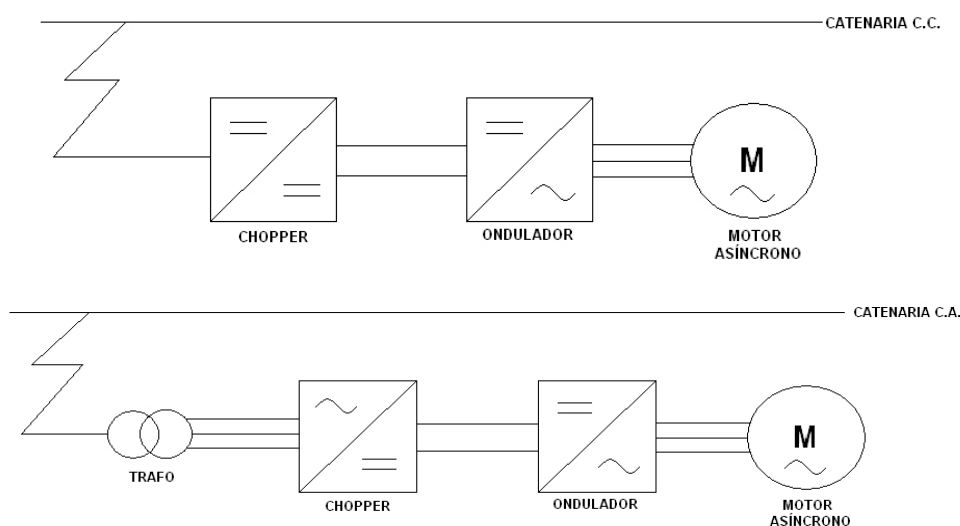


Fig. 33. Esquemes elèctrics de l'equip de tracció de d'una locomotora alimentada per una catenària a corrent continu i altern respectivament [56].

L'element captador d'electricitat de la xarxa és el pantògraf. El pantògraf de les locomotores elèctriques disposa d'uns ressorts o molles que el fan estar contínuament tensat

cap amunt perquè la platina fregadora, l'element que pren la corrent de la línia, sempre estigui en contacte amb la catenària. Les parts substancials de tot pantògraf són les següents:

- *Tauletes*: és la peça que recull el corrent elèctric, en particular els fregadors.
- *Ressort*: mecanisme que fa que les tauletes i els fregadors en particular estiguin en contacte permanent amb el fil conductor.
- *Bastidor*: és el que subjecta el pantògraf a la locomotora.

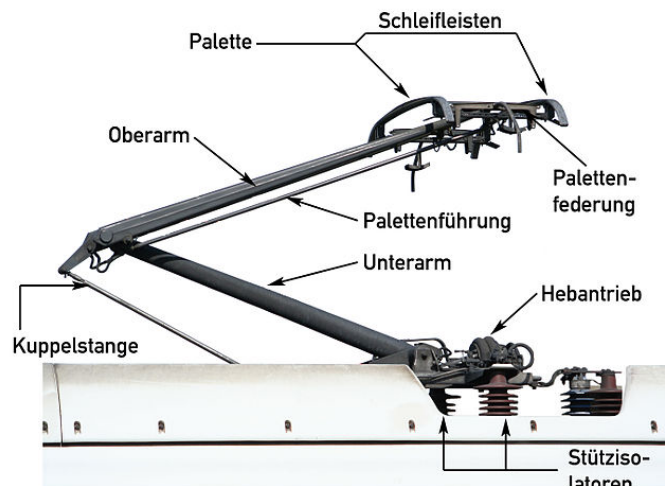


Fig. 34. Parts d'un pantògraf [58].

Les avantatges de l'ús de la locomotora elèctrica en les circulacions normals de trens són diverses:

- els motors dièsel ofereixen potències específiques inferiors a les elèctriques (20 kW/t enfront de 50 kW/t).
- en les línies amb fortes rampes ($>25\%$) la tracció elèctrica és la única possible, tan per dèficits de potències com per sobreescalfaments dels motors dièsel.
- els nivells de contaminació atmosfèrica i sonora dels motors dièsel, tot i que molt menors als de mode carretera, supera amplament a la tracció elèctrica.
- els motors elèctrics necessiten menys manteniment que els dièsel, i tenen una duració molt superior.
- la locomotora elèctrica no precisa transportar combustible i per tant, no es veu sotmesa a limitacions d'autonomia ni precisa de punts d'abastiment.

5.2.3.2.2. Acoblament

L'acoblament s'aconsegueix mitjançant els enganxalls, mecanisme interconnectable entre dos vehicles consecutius. És un element fonamental des del punt de vista de la compatibilitat per formar un tren i se'n distingeixen tres tipus:

- *Manuals*: un operari acobla els vehicles manipulant el propi enganxall.
- *Semipermanents*: dissenyats per desacoblar-se només a taller, són utilitzats normalment per composicions de viatgers, que realitzen serveis regulars amb un número fix de cotxes.
- *Automàtics*: no necessiten l'intervenció humana per a acoblar-se, tenen la capacitat d'unir-se sols quan els vehicles s'apropen.

Els dissenys més utilitzats són:

- **Topalls i cadena (o de ganxo i cargol)**

És l'acoblament estàndard a Europa. Es basa en la unió dels dos ganxos dels vagons mitjançant d'una cadena. Els topalls, que disposen d'amortiguació, estan en contacte i permeten l'empenyiment dels vagons.

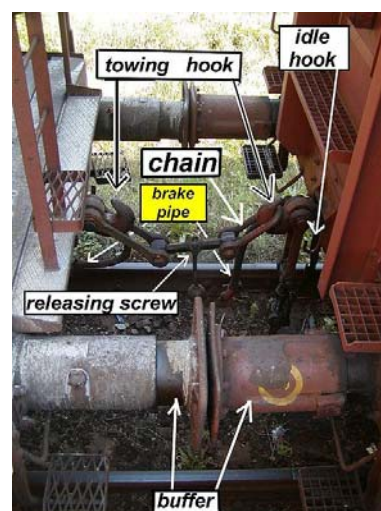


Fig. 35. Acoblament de ganxo i cargol [59].

- **Scharfenberg**

És el més comú dels enganxalls automàtics, considerat com el disseny estàndard. S'ha extès en tot tipus de vehicles de viatgers, principalment en trens suburbans. En mercaderies no s'utilitza massa ja que no permet l'arrossegament de grans càrregues (màxim 1000 t).

- **Janney, Knuckle, Buckeye o Alliance**

És l'enganxall capaç d'arrossegar major pes, si bé a Europa no és gaire comú.



Fig. 36. Enganxall Alliance [59].

5.2.3.2.3. Sistema de rodolament

Estructura on s'allotgen els eixos i sobre la qual es recolza el bastidor, correspon a la part no suspesa del vehicle. Hi ha dos tipus de rodolaments ferroviaris:

- *Rodolament per eixos*: els eixos de les rodes connectats directament al bastidor a través d'una suspensió
- *Rodolament per bogis*: dos o més eixos es troben inserits a una estructura pròpia sobre la qual descansa la caixa del vehicle, acoblant-s'hi amb un pivot.

El sistema de rodolament de les locomotores modernes s'efectua exclusivament per bogis. S'hi troben els motors de tracció (excepte pel cas de les locomotores dièsel-mecàniques), el reductor, els mecanismes de fre i la suspensió.

S'ha estès la classificació del rodatge UIC [60] per poder definir el tipus de rodatge-tracció de les locomotores, en les quals no s'inclouen les Diesel. Es classifiquen pels bogis o xassís de què disposen, identificant la següent manera:

- *Eixos lliures*: es denominen amb el nombre d'eixos que tenen.
- *Eixos motrius*: es denominen mitjançant una lletra: *A*= Un eix motriu; *B* = Dos eixos motrius, *C* = Tres eixos motrius, *D* = Quatre eixos motrius...Si els eixos motrius tenen un motor independent per a cada un, se'ls afegeix "o" i si són bimotores "oo"
- *Bogi*: se li col·loca un apòstrof (') darrere de la classificació sempre que es tracti d'un bogi, i no es col·locaria quan els eixos estan dins del xassís de la locomotora. Es col·locaran parèntesis () quan en un mateix bogi hi hagi muntats eixos lliures i eixos motrius.

Tracció composta: és a dir diversos vehicles motrius, es relacionarien separant-los pel símbol +.

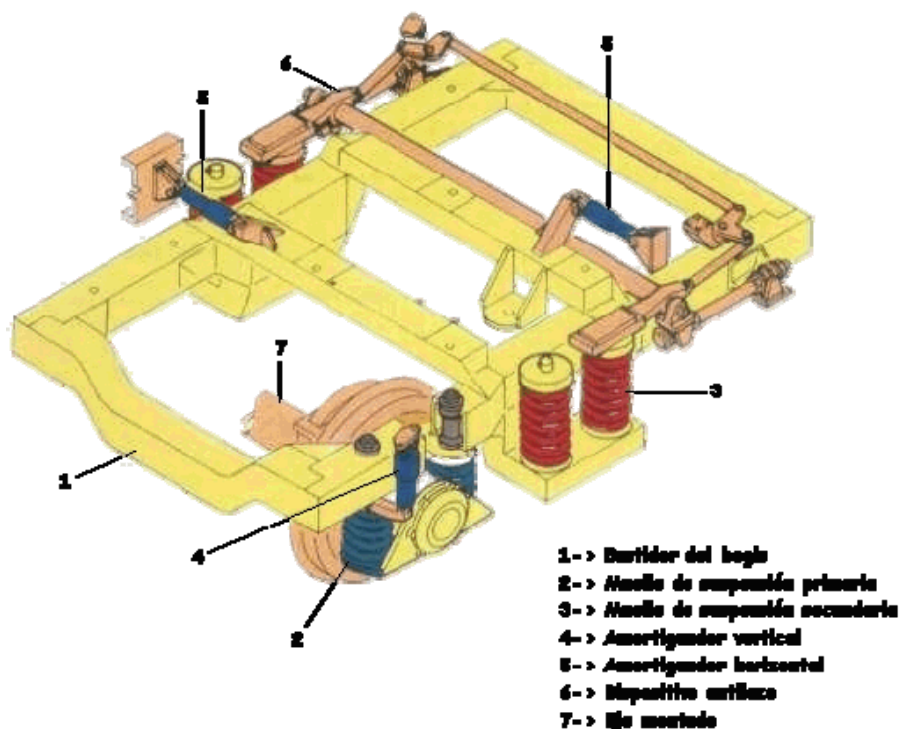


Fig. 37. Esquema del bogi de la sèrie 269 de Renfe [57].

La suspensió es troba integrada al conjunt de rodolament, i es divideix entre:

- *Suspensió primària*: situada entre els eixos de les rodes i el bogi.
- *Suspensió secundària*: intercalada entre el bogi i la caixa.

L'amplada de la cara interna de les rodes (o ample d'eixos) és una variable que determina la xarxa on s'utilitzarà el material. Alguns trens (principalment de viatgers) disposen del sistema d'ample d'eixos variable, de manera que en permet la circulació per línies de diferents tipus d'ample de via, sempre i quan es disposi del canviador d'ample compatible instal·lat.

5.2.3.2.4. Equip de control-comandament

La moderna senyalització ferroviària incorpora sistemes de repetició de senyals a la locomotora i control de velocitat per tal d'assegurar la seguretat del tren en cas de fallada del maquinista en la resposta a les senyals observades.

En trens internacionals però, cal instal·lar en paral·lel equips a bord diversos sistemes corresponents a cada control-comandament nacional. La locomotora de mercaderies 186 per exemple, està equipada per circular a través de tot el corredor Rotterdam-Gènova. A més de les antenes per ATB (Bèlgica), LZB (Alemanya), Signum-ZUB (Suïssa) i el SCMT-BACC (Itàlia), equipa l'ETCS, per usar-lo en aquelles línies on ja estigui instal·lat.



Fig. 38. Equipament de control-comandament instal·lat a la locomotora interoperable Bombardier 186 [16].

5.2.3.3. Vagons

Són aquells vehicles dedicats al transport de càrregues que no disposen de força motriu pròpia, i han de ser moguts per una locomotora. Hi ha una gran diversitat de dissenys en funció de la càrrega a transportar. La UIC classifica els vagons en:

- Oberts de perfil alt
- Coberts
- Cisternes
- Climatitzats
- De perfil baix
- De sostre obert (tremuja)
- Vagons especials

5.2.3.3.1. Acoblament de vagons

Els enganxalls de la gran majoria de vagons de mercaderies és de topalls i cargol. Tot i ser un tipus d'acoblament que no ofereix les millors prestacions, donada la gran varietat i número de vagons existents, es fa molt complicat estendre nous tipus d'enganxalls amb major capacitat de càrrega com l'Alliance, per la incompatibilitat d'acoblament amb el parc de vagons europeu que presentarien.

5.2.3.3.2. Sistema de rodolament

A diferència de les locomotores, els vagons són vehicles que a més a més de bogis també poden ser d'eixos. Els vagons més ràpids i pesants però solen estar recolzats en bogis. Els bogis per a mercaderies no disposen de suspensió secundària, ja que no es tenen requeriments de confort. El seu pes es compren entre 4,7 i 5,4 t. Es presenten diferents dissenys en funció de la velocitat

Taula 25. Característiques de diferents tipus de bogis per a vagons de mercaderies.

Tipus de bogi	Velocitat màxima		
	Vmax	Empat (m)	Rroda (mm)
Y25	120	1,80	920
Y31, Y 35	140	1,80	760

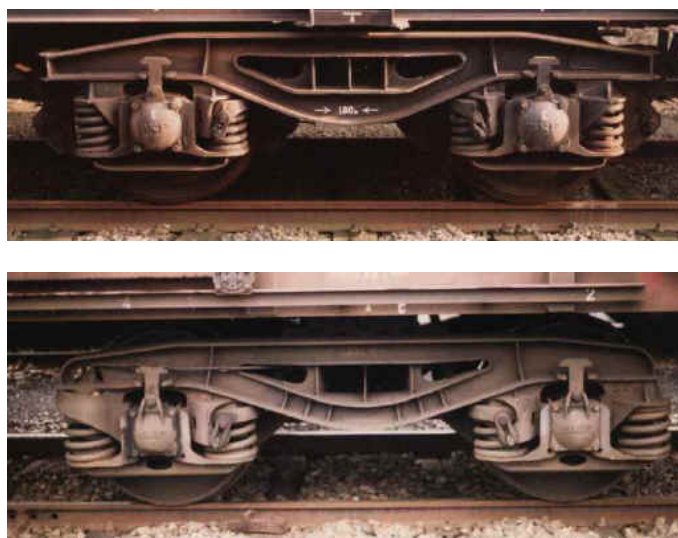


Fig. 39. Bogis Y25 i Y31 [61].

5.2.3.3.3. Càrrega màxima

La càrrega útil màxima transportable en un vagó en una serà el valor més baix resultant de les dues fórmules següents [28]:

$$X = n \cdot P - T$$

$$Y = L \cdot p - T$$

On:

- n : número d'eixos del vagó
- P : massa per eix (t)
- p : massa per unitat de longitud (t/m)
- L : longitud entre topalls

P i p són paràmetres definits per la infraestructura, mentre la resta són variables de disseny pròpies de cada vagó. Aquestes fórmules són d'especial ús en aquelles línies on la plataforma no reuneix les condicions per suportar tràfics pesants convencional, és a dir els 20-22,5 t/eix, on s'imposen els límits P i p .

5.3. Interferències

Es determinen les interferències entre les variables de disseny dels dos sistemes. A la cartel·la de la pàgina següent s'adjunta la taula d'on s'han obtingut les interferències.

Taula 26. Interferències entre els sistemes línia d'alta velocitat i el transport de mercaderies.

<i>Interferència</i>	<i>Restricció</i>
H(1,2,3), P(1,2,3), Q(1,2,3)	Efecte del pas del tren sobre el conjunt via
(B,M,R)6	Ample de via i eixos
H(9,23)	Encreuament de trens
(P,Q,R)(10,11)	Risc de descarrilament de vagons
(D,F,G,I,K,P)12	Rampes
(H,P,Q)14	Efectes de la circulació sobre ponts i viaductes
(A,F,P)15	Pas per túnels
K16	Equip de captació energètica
(I,K)17	Consum energètic
(D,N)(19,20)	Equips embarcats de control
D(23,24,25,26)	Creació d'itineraris en LAV's
D22	Afectació sobre la capacitat
C28	Connectivitat d'estacions i línies
(M,R)27	Ús dels canviadors d'ample
(P,Q)29	Augment de les sol·licitacions verticals
H11	Augment del desgast dels carrils
(P,Q)30	Augment del deteriorament del conjunt via
D(12,22)	Limitacions a la velocitat comercial dels trens
F(12)	Limitacions a la càrrega a transportar
E(25)	Limitacions a les longituds dels trens

				LÍNIA D'ALTA VELOCITAT																																	
				INFRAESTRUCTURA															EXPLOTACIÓ										MANTENIMENT								
				Subestructura			Superestructura				Traçat				Obra civil		Sistema d'energia		Gestió circulació					Mat. Rod.	Bifurcació				Manteniment de via								
				Plataforma	Capes d'assentament	Balast	Travessa	Carril	Ample de via	Aparells de via	Gàlib	Entrevia	Radi de corba	Peralt	Rampa	Passos superiors, inferiors i a nivell	Ponts i viaductes	Túnels	Electrificació	Distribució i alimentació d'energia	Bloqueig	Senyalització i control comandament de trens	Sistema ERTMS	Control de tràfic	Capacitat	Trens d'alta velocitat	Estacions de viatgers	Punts d'apartat i avançament de trens	Punt de banalització	Canviador d'ample	Bifurcació	Qualitat geomètrica de la via	Deteriorament de la via	Control de la línia	Operacions de manteniment	Intervenció i freqüència de manteniment	Renovació de components
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
TRANSPORTS DE MERCADERIES	AGENTS DEL TRANSPORT	Estació	Tipus de càrrega	A											x																						
			Característiques tècniques vies	B					x																												
			Connectivitat xarxa	C																														x			
		Tren	Velocitat comercial	D										x							x	x		x	x		x	x									
			Longitud dels trens	E																				x													
			Càrrega a transportar	F											x			x																			
	MATERIAL RODANT	Paràmetres de referència	Resistència avanç	G										x																							
			Pes	H	x	x	x				x		x			x									x												
			Potència	I											x					x																	
			Esforç enganxall	J																	x																
		Locomotores	Tracció	K											x				x	x																	
			Acoblament	L																																	
			Rodolament	M																														x			
			Equip de control-comandament	N																		x	x														
		Vagons	Acoblament	O																																	
			Càrrega màxima	P	x	x	x					x	x	x			x	x														x	x				
			Velocitat màxima	Q	x	x	x					x	x				x															x					
			Rodolament	R									x	x																							

5.4. Restriccions

Les restriccions que es plantegen a continuació sorgeixen dels aspectes que limiten el pas de trens de mercaderies per les línia d'alta velocitat, i es defineixen en referència a les interferències entre les variables de disseny descrites als punts anteriors.

5.4.1. Restriccions que imposa la línia

Són les restriccions que la línia d'alta velocitat imposa sobre l'explotació de transport de mercaderies.

5.4.1.1. Restriccions del conjunt via

S'estudien la capacitat portant de la infraestructura i l'ample de via.

R1) Efecte del pas del trens de mercaderies damunt el conjunt de via: capacitat portant del balast i la plataforma

L'efecte de la circulació de trens de mercaderies sobre la via es tradueix en un seguit d'esforços que es transmeten a través dels diferents components fins la plataforma.

Les condicions de circulació de l'alta velocitat porten a la construcció de subestructures més resistents que les de vies convencionals, com s'ha descrit anteriorment, fet pel qual circulacions més pesades no comprometran la capacitat portant del sistema. Això no obstant, el pas repetit de vehicles molt més pesants suposarà un notable increment en els assentaments de la via i el balast, fet que comprometrà considerablement la qualitat geomètrica del conjunt. En conclusió, si bé el pas de trens de mercaderies no suposa un problema per la capacitat portant de la infraestructura, sí que n'augmenta el procés de deteriorament de la seva qualitat geomètrica, fet que caldrà analitzar detalladament.

R2) Ample de via i eixos

L'ample de via no és una restricció al transport de mercaderies sinó a qualsevol tipus de ferrocarril dissenyat amb ample diferent al projectat per aquella línia, exempt de sistema canviador de l'amplada dels eixos.

De la mateixa manera que no podran circular trens amb eixos d'ample diferents als de la línia d'alta velocitat, tampoc es podran rebre o expedir els trens a estacions que no disposin d'ample de via de la línia.

5.4.1.2. Restriccions de traçat

R3) Efectes de l'encreuament de trens

El paràmetre de referència és el de l'entrevia, ja que a major distància entre les vies, menor serà l'efecte aerodinàmic derivat del creuament dels trens. No està molt clara la influència de la entrevista en els efectes aerodinàmics, a la línia Tours-Burdeos, amb entrevista de 3,67 m, els trens de TGV i els mercants es creuen a velocitats de 120-140km/h sense que s'hagi constatat mai cap incidència. De totes maneres, les noves línies d'alta velocitat està sent construïda amb valors d'entrevia superiors als 4,5 m, fet pel qual se suposarà com a valor de referència en aquest treball.

R4) Risc de descarrilament de vagon

Els radis de corbes en les línies d'alta velocitat són molt més grans (entre 4000 i 7000 m, com s'ha vist) que en línies convencionals, fet pel qual aquest paràmetre no representar cap impediment per a la circulació de trens de mercaderies.

Pel que fa als peralts, cal determinar que l'excés de peralt a què estan sotmesos els vehicles lents quan circulen per una línia projectada per la inscripció en corba de vehicles ràpids, no suposi un perill per al bolcat o descarrilament.

- **Ripat de la via**

El ripat es defineix com el desplaçament lateral de la via. L'efecte del moviment de llaç dels eixos dels vehicles ferroviaris poden causar, sota certes condicions, el ripat de la via. Prud'Homme estableix el límit de ripat:

$$L = 0,85 \left[10 + \frac{P}{3} \right] \quad (5.28)$$

On:

- L : és el l'esforç lateral màxim abans de ripat (kN)
- P : és el pes per eix del vehicle (kN)

En una corba, l'esforç lateral que exerceix la roda és igual a:

$$H = H_a + H_i \quad (5.29)$$

- H_a : és l'esforç del moviment de llaç de l'eix, de naturalesa aleatòria. Depèn del pes per eix i la velocitat. Eisemann el va quantificar:

$$H_a \leq \frac{P \cdot v}{1000} \quad (5.30)$$

- H_i : és l'esforç degut a la inscripció en corba. Es dedueix de l'acceleració sense compensar:

$$H_i \leq \frac{1}{10^5} \frac{P}{g} \gamma_{sc} \quad (5.31)$$

En conclusió, l'equació que determina la resistència transversal màxima de la via:

$$H \leq L \rightarrow H_a + H_i \leq L$$

$$\frac{P \cdot v}{1000} + \frac{P}{g} \gamma_{sc} \leq 0,85 \left(10 + \frac{P}{3} \right) \quad (5.32)$$

Recordant l'expressió de l'acceleració no compensada, que passada a km/h:

$$\gamma_{sc} = \frac{1}{3,6^2} \frac{v^2}{r} - \frac{h}{S} g \quad (5.33)$$

A partir d'això es pot analitzar el pas de vagonets de mercaderies en les situacions més restrictives de corbes. Considerant $R = 4000 \text{ m}$, $S = 1505 \text{ mm}$ i $g = 9,8 \text{ m/s}^2$:

Taula 27. Anàlisi de la diferència entre el límit de ripat i l'esforç vertical en diverses condicions de circulació i peralt.

$P \text{ (t/eix)}$	$V \text{ (km/h)}$	$h \text{ (mm)}$	H_a	γ_{sc}	H_i	$ H $	L	$L - H $
20	80	120	-1,6	-0,66	-1,34	2,94	6,52	3,57
		180	-1,6	-1,05	-2,14	3,74	6,52	2,78
		200	-1,6	-1,18	-2,41	4,01	6,52	2,51
20	100	120	-2	-0,59	-1,20	3,20	6,52	3,32
		180	-2	-0,98	-2,00	4,00	6,52	2,52
		200	-2	-1,11	-2,26	4,26	6,52	2,25
20	120	120	-2,4	-0,50	-1,03	3,43	6,52	3,09
		180	-2,4	-0,89	-1,83	4,23	6,52	2,29
		200	-2,4	-1,02	-2,09	4,49	6,52	2,03
22,5	80	120	-1,8	-0,66	-1,51	3,31	7,23	3,91
		180	-1,8	-1,05	-2,41	4,21	7,23	3,02
		200	-1,8	-1,18	-2,71	4,51	7,23	2,72
22,5	100	120	-2,25	-0,59	-1,35	3,60	7,23	3,62
		180	-2,25	-0,98	-2,25	4,50	7,23	2,73
		200	-2,25	-1,11	-2,55	4,80	7,23	2,43
22,5	120	120	-2,7	-0,50	-1,16	3,86	7,23	3,37
		180	-2,7	-0,89	-2,05	4,75	7,23	2,47
		200	-2,7	-1,02	-2,35	5,05	7,23	2,17

Per tant s'observa que sota les condicions plantejades l'acceleració sense compensar és en tot moment negativa, fet que significa que el tren tindrà tendència a caure cap a l'interior. Això es deu al fet que el vehicle circula amb excés de peralt, és a dir que el peralt sobrecompensa la força centrífuga. Pel que fa als esforços aleatoris del moviment de llaç, el cas més restrictiu correspon als instants en què aquests es troben en el mateix sentit que la força centrífuga, és a dir cap a l'interior.

De la taula anterior es comprova que en cap de les circumstàncies plantejades apareix risc de ripat de via.

- **Descarrilament**

En el contacte roda carril apareixen dos esforços principals. De la banda de rodament de la roda es transmet una càrrega vertical Q sobre el carril, i de la pestanya es transmet una càrrega transversal Y . La resultant d'aquestes forces rep sobre el carril una reacció normal N d'igual direcció i sentit contrari, que comporta l'aparició de la component tangent μN . Aquesta component es troba damunt el pla de contacte roda carril definit per l'angle β sobre la horitzontal. En aplicar equilibri de forces sobre el contacte s'obté:

$$i) N \sin \beta - Y - \mu N \cos \beta = 0$$

$$j) N \cos \beta - Q + \mu N \sin \beta = 0$$

De les dues igualtats es pot obtenir la relació entre les càrregues vertical i lateral:

$$\frac{Y}{Q} \leq \frac{\tan \beta - \mu}{1 + \mu \tan \beta} \quad (5.34)$$

Que representa l'esforç lateral màxim respecte el pes del vehicle que es pot tenir sense que es produeixi el descarrilament. Nadal (1910) va determinar el valor límit per aquesta relació considerant un coeficient d'adherència $\mu = 0,4$ (contacte sec) i un angle de contacte $\beta = 60^\circ$ corresponent a un perfil de roda desgastada:

$$\frac{Y}{Q} \leq 0,8 \quad (5.35)$$

Cal subratllar que si be aquest anàlisi es realitza mitjançant els esforços per roda, en el cas que ens ocupa se suposarà la situació més restrictiva possible, amb tot l'esforç vertical aplicat sobre el mateix carril, de manera que $Y = H$ i $Q = P/2$.

Cal doncs analitzar si existeixen riscos de descarrilament dels vagons de mercaderies en les circumstàncies més restrictives de la infraestructura d'alta velocitat. Com en el càlcul precedent, $R = 4000 \text{ m}$, $S = 1505 \text{ mm}$ i $g = 9,8 \text{ m/s}^2$:

Taula 28. Anàlisi de la diferència entre el límit de ripat i l'esforç vertical en diverses condicions de circulació i peralt.

Q (t/roda)	V (km/h)	h (mm)	γ	γ/Q
10	80	120	2,94	0,29
		180	3,74	0,37
		200	4,01	0,40
10	100	120	3,20	0,32
		180	4,00	0,40
		200	4,26	0,43
10	120	120	3,43	0,34
		180	4,23	0,42
		200	4,49	0,45
11,25	80	120	3,31	0,29
		180	4,21	0,37
		200	4,51	0,40
11,5	100	120	3,60	0,32
		180	4,50	0,40
		200	4,80	0,43
11,5	120	120	3,86	0,34
		180	4,75	0,42
		200	5,05	0,45

R5) Restriccions en rampes

El valor de les rampes en alta velocitat sol ser més elevat que en les línies convencionals, tal com s'ha mostrat a l'apartat 5.1.1.3.2. Això pot limitar seriosament el pas dels trens de mercaderies, més pesants i lents que els de passatgers, per aquesta infraestructura. El requeriment principal que s'ha d'assegurar en el pas de qualsevol material per una rampa és que aquest es pugui detenir sobre ella amb tota seguretat, i que després pugui arrencar estant parat i amb tota la composició inclinada. Aquest fet limitarà la càrrega que pugui remolcar una locomotora en aquelles rampes més exigents, com s'ha vist en anteriorment.

En el context d'una línia d'alta velocitat, per no interferir en la capacitat, s'han d'evitar a més a més, pèrdues excessivament elevades de velocitat durant l'ascens. Aquesta restricció limita novament la càrrega remolcable, si be aquí és rellevant no només el valor de la rampa sinó també la longitud durant la qual es manté.

A. Bachiller (2001) va estudiar la problemàtica del tràfic mixt en línies d'alta velocitat des del punt de vista de les rampes. L'autora va determinar l'algorisme que determina les

longituds màximes de rampes admetent una pèrdua de velocitat donada per diferents càrregues remolcades, com s'ha apuntat abans.

Seràn aquests valors els que s'utilitzaran de referència per establir les restriccions de càrrega per manteniment de la velocitat a les rampes. S'indiquen a continuació els valors màxims de rampa acceptables per tal que un tren de mercaderies en diferents condicions de potència, càrrega i pèrdua de velocitat imposades, pugui pujar per una rampa d'una certa longitud. És per això que cal analitzar el traçat de la línia en els punts més restrictius tan pel que fa en gradients horitzontals com la longitud en què aquests es mantenen, ja que són els paràmetres més restrictius pel que fa a la viabilitat d'exploatació de mercaderies en vies d'alta velocitat.

Es diferenciarà entre trens de mercaderies convencionals (velocitats entre 100 i 120 km/h) i ràpids (velocitats entre 140 i 160 km/h).

Taula 29. Longituds i valors màxims de rampa admetent pèrdues de velocitat del 5 i el 10%, amb trens de mercaderies convencionals arrossegats per una locomotora 252 en diferents condicions de càrrega remolcada [4].

Massa remolcada (t)		600		800		1000		1200		1400	
Velocitat inicial (km/h)		100	120	100	120	100	120	100	120	100	120
Pèrdua de velocitat del 5%											
Velocitat final (km/h)		90	108	90	108	90	108	90	108	90	108
		Longitud rampa (km)									
Valor rampa (mm/m)	12,5	∞	∞	∞	∞	∞	4,4	∞	1,4	1,7	0,7
	15	∞	∞	∞	∞	∞	1,4	1,5	0,8	0,7	0,55
	17,5	∞	∞	∞	2	1,9	0,8	0,75	0,6	0,5	0,4
	20	∞	∞	∞	1	0,8	0,6	0,5	0,45	0,35	0,35
	22,5	∞	2,8	1,4	0,7	0,5	0,45	0,35	0,4	0,3	0,3
	25	∞	1,2	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,25
	27,5	∞	0,75	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,25	0,2	0,2
	30	1,1	0,55	0,35	0,35	0,2	0,25	0,2	0,2	0,15	0,2
	32,5	0,65	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,15	0,2	0,1	0,2
	35	0,45	0,35	0,2	0,25	0,15	0,2	0,1	0,2	0,1	0,15
Pèrdua de velocitat del 10%											
Velocitat final (km/h)		95	114	95	114	95	114	95	114	95	114
		Longitud rampa (km)									
Valor rampa (mm/m)	12,5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3,4	4,9	1,65
	15	∞	∞	∞	∞	∞	3,5	4,2	1,8	1,8	1,2
	17,5	∞	∞	∞	6,5	9	1,9	1,7	1,3	1	0,9
	20	∞	∞	∞	2,4	1,9	1,3	1	1	0,8	0,75
	22,5	∞	∞	1,5	1,55	1,1	1	0,75	0,8	0,6	0,6
	25	∞	3,1	1,7	1,1	0,8	0,8	0,6	0,65	0,5	0,5

Pèrdua de velocitat del 10%											
Velocitat final (km/h)		95	114	95	114	95	114	95	114	95	114
		Longitud rampa (km)									
	27,5	∞	1,75	1,05	0,9	0,6	0,65	0,5	0,55	0,4	0,5
	30	3,9	1,2	0,8	0,75	0,5	0,55	0,4	0,5	0,35	0,4
	32,5	1,5	0,95	0,6	0,6	0,45	0,5	0,35	0,45	0,3	0,4
	35	1	0,8	0,5	0,5	0,35	0,4	0,3	0,4	0,3	0,35

Els casos en què resulta ∞ significa que el tren li sobrarà potència per arribar al final de la rampa amb la pèrdua de velocitat donada, i que per tant la longitud de rampa a pujar en aquestes condicions no serà un factor restrictiu.

Taula 30. Longituds i valors màxims de rampa admetent pèrdues de velocitat del 5 i el 10%, amb trens de mercaderies ràpids arrossegats per una locomotora 252 en diferents condicions de càrrega remolcada. Font: elaboració pròpia a partir de [4].

Massa remolcada (t)		600		800		1000		1200		1400	
V. inicial (km/h)		140	160	140	160	140	160	140	160	140	160
Pèrdua de velocitat del 5%											
Velocitat final (km/h)		133	152	133	152	133	152	133	152	133	152
		Longitud rampa (km)									
Valor rampa (mm/m)	12,5	∞	10	4,3	1,8	1,5	1,2	1	1	0,85	0,85
	15	∞	2,7	1,7	1,2	1	0,9	0,75	0,75	0,65	0,7
	17,5	4	1,6	1,1	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6
	20	1,7	1,1	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,45	0,5
	22,5	1,05	0,85	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,45	0,4	0,45
	25	0,8	0,7	0,5	0,5	0,4	0,45	0,35	0,4	0,3	0,4
	27,5	0,6	0,6	0,4	0,45	0,35	0,4	0,3	0,38	0,3	0,35
	30	0,5	0,5	0,35	0,4	0,3	0,35	0,3	0,35	0,25	0,3
	32,5	0,4	0,45	0,3	0,35	0,3	0,3	0,25	0,3	0,2	0,3
	35	0,35	0,4	0,3	0,3	0,25	0,3	0,2	0,3	0,2	0,25
Pèrdua de velocitat del 10%											
Velocitat final (km/h)		126	144	126	144	126	144	126	144	126	144
		Longitud rampa (km)									
Valor rampa (mm/m)	12,5	∞	∞	∞	4,2	3,5	2,6	2,2	2	1,8	1,8
	15	∞	7,6	4,2	2,7	2,15	1,9	1,6	1,6	1,4	1,4
	17,5	∞	3,6	2,4	1,95	1,55	1,5	1,2	1,3	1,1	1,2
	20	4,2	2,4	1,7	1,55	1,2	1,2	1	1,1	0,9	1
	22,5	2,4	1,8	1,3	1,3	1	1,1	0,8	0,95	0,8	0,9
	25	1,7	1,5	1,05	1,1	0,8	0,9	0,7	0,8	0,7	0,8
	27,5	1,3	1,2	0,9	0,95	0,7	0,8	0,65	0,75	0,6	0,7
	30	1,05	1	0,75	0,85	0,65	0,7	0,6	0,7	0,5	0,65
	32,5	0,9	0,9	0,65	0,75	0,6	0,65	0,5	0,65	0,5	0,6
	35	0,75	0,8	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,55

Es conclou que la circulació a velocitats elevades es fa més restrictiva en l'anàlisi del pas per rampa, de manera que seria un important factor a considerar en la proposta de trens de mercaderies ràpids.

Per altra banda, s'observa que el límit recomanable a utilitzar una sola locomotora se situaria a uns 800 t de càrrega remolcada, si be caldria analitzar cada cas en particular.

Tot i que les rampes limiten en gran mesura la lliure circulació dels tren de mercaderies, la pèrdua de velocitat es pot compensar amb l'acoblament de locomotores addicionals per tal d'augmentar la potència requerida. Això també permet remolcar major quantitat de càrrega.

Taula 31. Longituds i valors màxims de rampa admetent pèrdues de velocitat del 10%, amb trens de mercaderies convencionals arrossegats per dues locomotores 252 en diferents condicions de càrrega remolcada.
Font: elaboració pròpia a partir de [4].

Massa remolcada (t)		1000		1200		1400		1600	
Velocitat inicial (km/h)		100	120	100	120	100	120	100	120
Pèrdua de velocitat del 10%									
Velocitat final (km/h)		95	114	95	114	95	114	95	114
		Longitud rampa (km)							
Valor rampa (mm/m)	12,5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	15	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	17,5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	6,6
	20	∞	∞	∞	∞	∞	7,5	∞	2,4
	22,5	∞	∞	∞	∞	∞	2,5	5,2	1,55
	25	∞	∞	∞	3,1	∞	1,55	1,75	1,1
	27,5	∞	∞	∞	1,75	2	1,1	1,05	0,9
	30	∞	2,7	4,2	1,2	1,15	0,9	0,8	0,7
	32,5	∞	1,6	1,6	0,95	0,8	0,7	0,6	0,6
	35	∞	1,1	1	0,75	0,6	0,6	0,5	0,5

Taula 32. Longituds i valors màxims de rampa admetent pèrdues de velocitat del 10%, amb trens de mercaderies ràpids arrossegats per dues locomotores 252 en diferents condicions de càrrega remolcada. Font: elaboració pròpia a partir de [4].

Massa remolcada (t)		1000		1200		1400		1600	
Velocitat inicial (km/h)		140	160	140	160	140	160	140	160
Pèrdua de velocitat del 10%									
Velocitat final (km/h)		133	152	133	152	133	152	133	152
		Longitud rampa (km)							
Valor rampa (mm/m)	12,5	∞	∞	∞	∞	∞	7,7	4,2	2,7
	15	∞	∞	∞	7,7	∞	3,7	2,7	2,2
	17,5	∞	15	∞	3,7	3,9	2,4	1,95	1,85
	20	∞	4,4	4,3	2,4	2,3	1,8	1,55	1,6
	22,5	8,4	2,7	2,4	1,8	1,6	1,5	1,3	1,4
	25	3,1	2	1,7	1,5	1,25	1,2	1,1	1,25
	27,5	2	1,6	1,3	1,2	1	1	0,95	1,15
	30	1,5	1,3	1,05	1	0,8	0,9	0,85	1
	32,5	1,2	1,1	0,9	0,9	0,7	0,8	0,75	0,95
	35	1	0,95	0,75	0,8	0,6	0,7	0,7	0,85

Com s'observa en l'anàlisi dels resultats, la circulació per rampes de fins a un quilòmetre de llarg es fa viable en trens de mercaderies convencionals traccionats amb doble composició i remolcant 1400 t, per a gradients de fins a 27,5‰.

Finalment cal senyalar que aquests valors s'han obtingut a partir d'expressions deduïdes teòricament, de manera que si be descriuen amb fidelitat el comportament d'un tren en les condicions plantejades, per poder ajustar completament els resultats seria necessari efectuar assaigs reals amb els trens de mercaderies específics amb els que es pretengui circular per la línia.

5.4.1.3. Restriccions d'obra

S'estudien els efectes del tren al pas per ponts i viaductes i per túnels.

R6) Pas per ponts i viaductes

Els efectes més importants a considerar sobre els ponts i viaductes són, a més a més del pes i la velocitat de les circulacions, els esforços d'acceleració i frenada, i els efectes climatològics especialment del vent, fet pel qual les infraestructures d'aquestes obres són punts tan singulars. A més a més, el dimensionament dels viaductes d'alta velocitat s'efectuen per a circulacions de tot tipus de naturalesa, i sempre amb elevats coeficients

de seguretat. Com en el cas del conjunt via doncs, no suposen una restricció al pas dels trens de mercaderies convencionals, però sí que cal considerar-ne l'increment del deteriorament per l'augment de tràfic.

R7) Pas per túnels

Donat que les seccions dels túnels de les línies d'alta velocitat són força majors a les de les línies convencionals, no es presenta cap restricció de gàlib. Poden presentar-se no obstant, limitacions de velocitat en túnels concrets que hauran de respectar-se.

5.4.1.4. Restriccions energètiques

R8) Equips de captació energètica

La captació energètica dels pantògrafs de les locomotores es realitza igual que els trens d'alta velocitat, si bé exigeix adoptar equips adequats per les tensions d'electrificació de la línia. No representa una restricció tècnica ja que s'admet la circulació de trens dièsel.

Les locomotores elèctriques hauran d'equipar pantògrafs adequats per la captació d'energia amb tensió de 25 kV AC (o la corresponent de la línia d'alta velocitat), així com tots els equips de tracció (disjuntors, transformadors, convertidors, etc) per adequar-la als valors de tensió de treball de la pròpia locomotora.

Per a trens amb tracció dièsel no existiria cap mena de restricció energètica, però podrien presentar-se restriccions normatives que impedissin aquest tipus de combustible, per raons ambientals o de soroll, en línies d'alta velocitat o en alguns trams d'aquesta com ara túnels o zones urbanes.

R9) Consum energètic

La línia de subministrament es dissenya per tal que pugui abastir un tren en cada cantó de xarxa, fet pel qual considerant que es respecten les condicions de capacitat de la línia, el pas de trens de mercaderies no hauria de suposar un problema en el subministrament energètic, tot i que caldria comprovar-ho en cada cas.

5.4.1.5. Restriccions de senyalització

R10) Equips embarcats de control-comandament

No és possible la circulació de trens que no puguin ser controlats i comandats en una línia d'alta velocitat. Tot i que els moderns sistemes ETCS permetrien l'avanç del tren a velocitats reduïdes, per garantir la seguretat dels dos sistemes i l'ús raonable de la infraestructura, es fa necessari que les locomotores instal·lin o bé l'ERTMS, present en gairebé totes les línies d'alta velocitat europees actuals, o bé el sistema preexistent de la via on s'operarà. Aquest fet implica l'ús de locomotores interoperables.

Per altra banda, cal considerar els sistemes de senyalització de les línies convencionals que connecten la línia d'alta velocitat amb les estacions de mercaderies, que normalment no contenen amb sistema ETCS. Es fa necessària també la instal·lació de l'equip embarcat compatible amb aquestes línies.

5.4.1.6. Restriccions de capacitat

R11) Possibilitat de creació d'itineraris

La possibilitat d'establir itineraris pels trens de mercaderies en línies d'alta velocitat depèn de l'existència de solcs que puguin ser aprofitats per ells, i per tant del fet que la línia ofereixi capacitat.

Un dels principals limitants a la utilització d'una línia d'alta velocitat dedicada al transport de passatgers per a trens de mercaderies és el tipus comú d'explotació en paquets de trens. En aquest tipus d'explotació, equivalent al tipus de línia T1, es fan circular consecutivament trens de velocitats iguals per tal que les freqüències de pas puguin ser les més altes possibles gràcies a l'absència d'interferència amb trens més lents.

Per altra banda, una línia operada amb trens de viatgers que circulen a velocitats diferents, és a dir del tipus T2, implica un major esforç en la creació d'itineraris per fer possible les interferències dels trens, ja sigui en punts d'avançament PAET, en les estacions de viatgers, en by-passos o mitjançant la banalització, i per tant també disposar d'una infraestructura que faciliti això.

Una explotació en paquets de trens no significa un impediment a la inserció de serveis de mercaderies, ja que això depèn en qualsevol cas de la ocupació i capacitat resultat de la línia. Però el tipus d'explotació és un primer indicador de les possibilitats que ofereixen la infraestructura per a la interferència de trens a diferents velocitats, i el disseny dels horaris comercials que estableixen més temps entre els trens més ràpids per assegurar circulacions dels menys ràpids.

L'anàlisi de la possibilitat de creació d'itineraris per als trens de mercaderies es basa doncs, en conèixer els punts d'accés i sortida de la línia (i per tant les de disposar de connexió des de les estacions, com s'explica a la restricció XX), determinar els horaris comercials d'explotació en aquell tram, i considerant les velocitats del nostre tren, planificar el seu recorregut per tal de concloure si la infraestructura permet la interferència amb els serveis ràpids en qualsevol de les següents estacions:

- *PAET*: el tren de mercaderies es pot apartar per deixar pas al perseguidor tren d'alta velocitat i així no afectar les seves condicions de circulació.
- *Estació de viatgers*: actuant com un PAET.
- *PB*: el tren de viatgers pot desviar-se a la via contrària per així avançar al tren de mercaderies que està perseguint, i tornar a la via preferent en el següent PB. El

factor limitant és el tràfic en sentit contrari, que impediria la banalització del tren.

- *Bypass*: és una bifurcació que permet la continuïtat dels trens que no fan parada a una estació, permet al tren de mercaderies estalviar-se l'interferència dels trens de viatgers modificant el seu recorregut per la via (directa o bifurcada), que sigui convenient.

Així doncs, a part del tipus d'explotació, també la presència d'estacions a la línia incideix sobre la possible una circulació del tren de mercaderies.

R12) Afectació sobre la capacitat de la línia

El principal problema que comporta la incursió d'un tren de mercaderies a una via ràpida des del punt de vista de la explotació de la línia, és la reducció de capacitat que aquesta sofreix. Les circulacions dels serveis lents de mercaderies en una línia d'alta velocitat suposen la disminució de la velocitat mitjana però principalment de la homogeneïtat del tràfic de la línia, fet que com s'observa en el balanç de capacitat, implica una disminució del número de trens que poden circular a la línia. Aquest problema es pot observar a la figura següent:

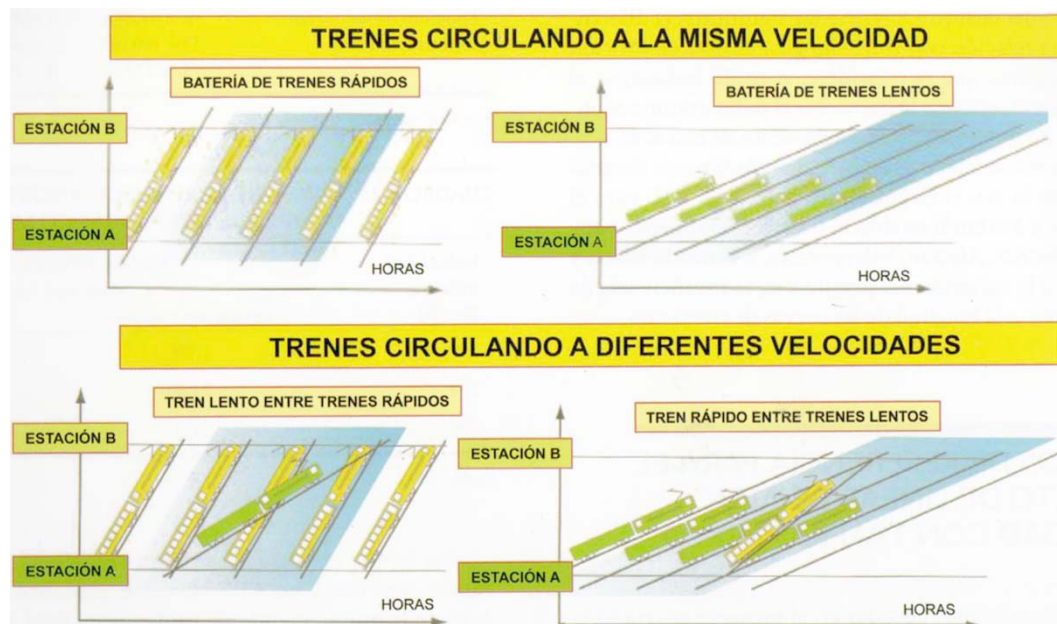


Fig. 40. Efecte d'inserir trens de diferent velocitat a una línia amb tràfic homogeni [3].

La presència d'un tren de mercaderies a la línia pot significar l'anul·lació de diversos solcs per als trens d'alta velocitat, és a dir el número de trens ràpids que poden circular en un determinat període de temps. Les circulacions heterogènies només seran possible en aquelles línies que tinguin suficient capacitat com per acceptar-les, com s'ha vist en la restricció XX, és a dir, només es podran fer circular trens de mercaderies a les línies on el número de trens de viatgers no sigui molt elevat. Per això cal determinar el consum de

capacitat de l'exploació existent de la línia K i comprovar que no supera els llindars que marca la UIC.

5.4.1.7. Restriccions d'estacions

R13) Connectivitat entre LAV i estacions

La connectivitat de la línia d'alta velocitat a les estacions de mercaderies és una condició necessària per poder establir el transport de mercaderies a través seu, ja que només des d'allà es poden expedir i rebre trens. A les línies centre europees això no representa un gran problema ja que en ser les línies d'alta velocitat del mateix ample de via que les convencionals la xarxa ferroviària està completament mallada. Allà on els amplex són diferents, com és el cas d'Espanya, les connexions requereixen construir desviaments cap a ramals de línia convencional on s'instal·la el tercer carril o bé trams dedicats exclusius a mercaderies.

R14) Ús dels canviadors d'ample

Els canviadors d'ample a les línies d'alta velocitat estan dissenyats per al material rodant de viatgers, de manera que no són possibles canvis d'eixos en trens de mercaderies. No es consideren doncs, efectius per aquest tipus d'operativitat.

5.4.2. Restriccions de l'exploació de trens de mercaderies

Són aquelles restriccions que implica la circulació del tren de mercaderies per la línia.

5.4.2.1. Restriccions de manteniment

La circulació de trens de mercaderies en una línia d'alta velocitat té una incidència directa en l'increment dels requeriments de manteniment de la via. L'augment de sol·licitacions a la qual es trobarà sotmesa comportarà un increment del deteriorament de la via i en conseqüència, una major freqüència de control i intervenció.

R15) Augment de les sol·licitacions verticals

La fórmula de Prud'homme mostra les sol·licitacions verticals exercides pel material ferroviari durant la circulació per un via. L'esforç vertical total produït per una roda sobre el carril:

$$Q_T = Q_E + \Delta Q_D \quad (5.36)$$

- Q_E : esforç estàtic exercit per una roda.
- ΔQ_D : esforç dinàmic exercit per una roda. Es tracta d'un esforç aleatori i per tant, la seva valoració està basada en l'estadística, per tant:

$$\Delta Q_D = 2\sigma(\Delta Q_D) = 2\sqrt{\sigma^2(\Delta Q_S) + \sigma^2(\Delta Q_{NS})}$$

On $\sigma(\Delta Q_S)$ i $\sigma(\Delta Q_{NS})$ són les desviacions típiques de les masses suspeses i no suspeses respectivament. Es determinen per les següents relacions matemàtiques:

$$\sigma(\Delta Q_{NS}) = a \cdot b \cdot v \sqrt{m \cdot k} \quad (5.37)$$

On:

- a = coeficient de balast, paràmetre que representa l'amortiguació produïda pel suport de la via. Es consideren les següents aproximacions:

$$a = 0,7 \text{ (viatgers)}$$

$$a = 1,2 \text{ (mercaderies)}$$

- b = paràmetre que caracteritza l'amplitud dels defectes de la via i el material.
- v = velocitat de circulació
- m = massa no suspesa. Es consideren les següents aproximacions:

$$m = 0,8 \text{ t/r (viatgers AV)}$$

$$m = 1,4 \text{ t/r (vehicles convencionals)}$$

- k = rigidesa vertical de la via

En una línia d'alta velocitat però, s'ha demostrat que la major qualitat geomètrica de la via comporta una disminució de les sol·licitacions verticals. En aquest sentit els treballs del comitè D-161 ORE van establir la següent expressió:

$$Q_D = Q_E + [12 + 0,6Q_E + 0,51(v - 50)(p - 0,5)]$$

On p és la desviació estàndard del perfil longitudinal de la via, que en l'estudi es va dividir en tres classes:

Taula 33. Classes de via per la determinació de la desviació estàndard. PITA AV

Classe 1	Qualitat molt bona	$p = 0 \div 1$
Classe 2	Bona qualitat	$p = 1 \div 2$
Classe 3	Qualitat moderada	$p > 2$

Per l'estudi es van utilitzar vagons de mercaderies de 20 a 22,5 t/eix.

López Pita va graficar els esforços verticals de diferent material rodant i en diferents condicions de qualitat de via.

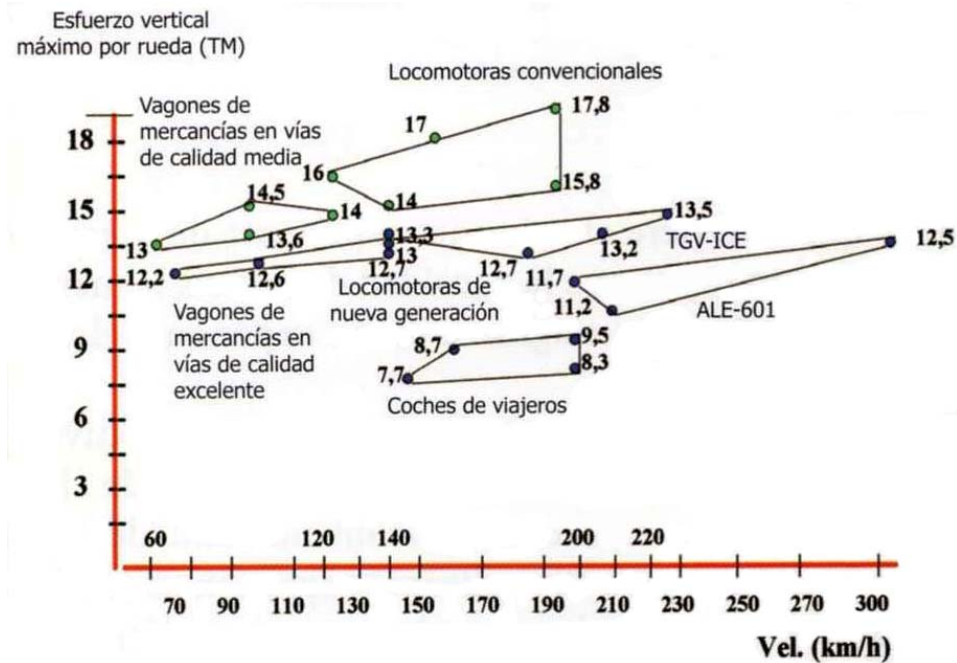


Fig. 41. Ordre de magnitud dels esforços verticals generats pels vehicles ferroviaris [1].

R16) Augment de deteriorament de la via

El tràfic més pesat dels trens de mercaderies comportarà una acceleració del deteriorament dels components de la via d'alta velocitat.

Utilitzant la regla de la potència [1], es pot quantificar la influència de les accions verticals sobre la via en el deteriorament de la seva qualitat geomètrica:

$$\left(\frac{Q_i}{Q_j}\right)^\alpha \quad (5.38)$$

On:

- Q_i : càrrega per roda del material que es pretén avaluar
- Q_j : càrrega per roda referència del material que circula per la línia
- α : coeficient que ajusta el deteriorament de la qualitat geomètrica. En funció de l'autor varia de 1 a 1,5.

Així doncs en introduir l'esforç dels vagons i el de les rames d'alta velocitat vistos al punt anterior s'obtingran aproximacions de l'increment dels costos de manteniment en una LAV explotada per mercaderies.

Taula 34. Aplicació de la regla de potència.

$Q_i(t)$	$Q_j(t)$	α	regla potència
14	12	1,5	1,26
14	12	1,2	1,20
14	12	1	1,17

Per tant l'increment de deteriorament de la qualitat geomètrica a causa de la circulació dels vagons de mercaderies sobre la línia se situaria entorn del 17% i el 26%.

Aquests resultats concorden amb el cas de la línia d'alta velocitat mixta Barcelona - frontera francesa, on s'han estimat els sobre costos de manteniment de la via deguts al tràfic de mercaderies de l'ordre del 25%.

Per la seva banda la UIC va estudiar la degradació de la qualitat geomètrica d'una via d'alta velocitat en funció del temps i el tipus de circulació.

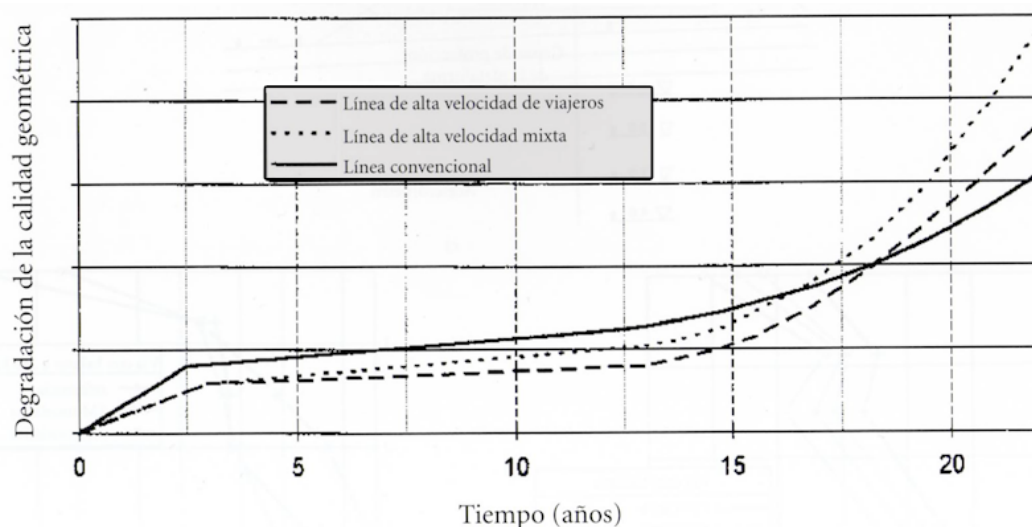


Fig. 42. Desgast de la via en funció del temps i el tipus de circulació [1].

A partir del gràfic anterior es pot afirmar que el deteriorament d'una línia d'alta velocitat reservada al tràfic exclusiu de viatgers evoluciona amb menor rapidesa que una línia convencional clàssica mixta (operada per viatgers i mercaderies). Pel que fa a la LAV explotada amb tràfic de mercaderies s'observa que la degradació geomètrica se situa a nivell entremig respecte les anteriors. Durant els primers 15 anys d'explotació, totes les línies augmenten els nivells de deteriorament de forma creixent bastant similar. Aproximadament a partir d'aquest moment, les línies d'alta velocitat pateixen un ràpid increment del desgast de la qualitat geomètrica, especialment la LAV amb tràfic mixt.

R17) Efecte de l'excés de peralt en el desgast dels carril interior d'una corba

En una corba es produeix una variació en les sobrecàrrega a cada carril ΔQ (d'igual valor i sentit contrari), fet que genera un parell de forces. El pas per la corba s'efectuarà sempre i quant el par de les sobrecàrregues sigui igual al moment degut a la massa del vehicle i a l'acceleració centrífuga.

La SNCF proposa la següent fórmula per el càlcul de sobrecàrregues dinàmiques damunt el carril en corbes, deduïda de l'anàlisi de càrregues sobre el vehicle en la inscripció a la corba:

$$\Delta Q_{sc} = \underbrace{\left[\frac{v^2 \cdot s}{g \cdot r} - h \right]}_{I \text{ (o } E)} \frac{2H}{s^2} Q_N \quad (5.39)$$

On:

- I : insuficiència de peralt (mm). Esdevé excés de peralt E per a vehicles lents, en tant que el terme quadràtic de la velocitat és inferior al peralt.
- s : distància entre carrils (mm)
- r : radi de corba
- h : peralt
- H : alçada del centre de gravetat del vehicle respecte el pla de rodolament (mm)
- Q_N : càrrega nominal per roda (t/roda).

S'observa que per velocitats elevades el peralt h real no serà suficient, presentant-se una insuficiència de peralt que provocarà una sobrecàrrega positiva en el carril exterior i una descàrrega a l'interior. Per velocitats petites el peralt real serà excessiu, existint un excés de peralt, produint-se una sobrecàrrega al carril interior i una descàrrega a l'exterior.

La càrrega total per roda aplicada sobre la via en la inscripció en corba:

$$\begin{aligned} Q_T &= Q_E + \Delta Q_D + \Delta Q_{sc} = \\ &= Q_N + 2 \sqrt{(\alpha Q_N)^2 + \left(a \cdot m \cdot \frac{v}{100} \right)^2} + 1,457 \cdot 10^{-3} \left(11,3 \frac{v^2}{r} - h \right) Q_N \end{aligned}$$

En el mateix llibre d'on s'han obtingut els valors de rampes màximes, s'analitza també la influència dinàmica del material rodant sobre la via. L'autora realitza estudis del comportament per a diferent material al pas per recta i per dues corbes tipus en línies d'alta velocitat.

Taula 35 Càrregues totals (t) sobre la via exercides per les rodes de diferents tipus de vehicles ferroviaris en la circulació en recta [6].

Velocitat (km/h)	Càrrega total per roda (t)		Velocitat (km/h)	Càrrega total per roda (t)		
	Tren d'alta velocitat (17 t/eix)	Cotxe de viatgers (17 t/eix)		Locomotora (22,5 t/eix)	Vagó (20 t/eix)	Vagó (22,5 t/eix)
160	-	12,2	100	15,3	12,9	14,4
200	-	12,8	120	15,5	13,2	14,6
300	12,3	-	140	15,7	13,5	14,9
350	12,8	-	160	16	13,8	15,2
			200	16,5	-	-

Pel cas concret de les sobrecàrregues en corba, se n'estudien les condicions més desfavorables, és a dir pels valors més reduïts del radi de corba i major peralt.

Càrrega total per roda (t)			Càrrega total per roda (t)			
Velocitat (km/h)	Tren d'alta velocitat (17 t/eix)	Cotxe de viatgers (17 t/eix)	Velocitat (km/h)	Locomotora (22,5 t/eix)	Vagó (20 t/eix)	Vagó (22,5 t/eix)
Carril exterior						
160	-	12,2	100	15,3	12,9	14,4
200	-	12,8	120	15,5	13,2	14,6
300	12,3	-	140	15,7	13,5	14,9
350	12,8	-	160	16	13,8	15,2
			200	16,5	-	-
Carril interior						
160	-	12,2	100	15,3	12,9	14,4
200	-	12,8	120	15,5	13,2	14,6
300	12,3	-	140	15,7	13,5	14,9
350	12,8	-	160	16	13,8	15,2
			200	16,5	-	-

Dels resultats es comprova que la càrrega sobre la via augmenta més pels efectes dinàmics produïts a l'augmentar la velocitat que per l'excés de peralt. Es conclou doncs que cal limitar la velocitat màxima dels trens de mercaderies per tal que la agressivitat sobre el carril no sigui excessivament elevada.

Per altra banda es fa palesa la diferencia de sobrecàrregues aparegudes en els vagons més pesants de 22,5 t/eix.

5.4.2.2. Restriccions a la qualitat dels tren de mercaderies

R18) Limitacions a la velocitat comercial del tren de mercaderies

Per assegurar velocitats comercials suficients dels trens de mercaderies, punt determinant de la rendibilitat del transport, cal que les interferències amb els trens de viatgers, que sempre tindran preferència de pas, siguin mínimes. Això implica disposar de suficient capacitat com per assegurar itineraris de mercaderies, és a dir no només que la línia no estigui pròxima al seu punt de congestió, sinó que també es puguin establir solcs per al seu pas de manera ininterrompuda, de manera que l'apartament del tren no s'hagi d'efectuar massa sovint, fet que comporta la reducció de la velocitat comercial del seu itinerari. La presència de punts de banalització podria resultar una solució en aquest sentit, ja que permet la circulació dels dos trens de diferent velocitat en un mateix sentit sense haver-s'hi d'aturar, en què el canvi de via permet l'avançament. En aquest cas caldria assegurar que l'avançament del tren no implica riscos de seguretat a la línia.

R19) Limitacions en la càrrega a transportat

La càrrega a transportar pot quedar restringida per tres factors, el pes, la forma i la tipologia.

- *Dimensions de la càrrega:* queden limitades pel gàlib de la infraestructura. Com s'ha vist però, els contorns de referència en alta velocitat són més grans que en línies convencionals, és per això que no es veuran restringides les dimensions pel transport convencional al seu pas per línies d'alta velocitat.
- *Naturalesa de la càrrega:* només implica restriccions en els casos que pugui ser perillosa o perjudicial per l'explotació. El transport de materials compactes, grànuls, vehicles i UIT's, no suposa cap tipus de limitació per la línia d'alta velocitat, si be en molts casos esdevenen restriccions el pes màxim de la càrrega. Això no obstant, els riscos que suposa el transport de mercaderies perilloses en una línia operada per a elevades freqüències de trens d'alta velocitat fa incompatible aquests tipus de servei. I pel que fa al transport de mercaderies especials, és probable que el pes i dimensions de les mercaderies impliquin unes condicions de circulació incompatibles amb les circulacions regulars dels trens d'alta velocitat, tot i que s'hauria d'avaluar cada cas, a més tenint en compte que generalment es tracta de transports puntuals.
- *Càrrega màxima:* es veu limitada en primera instància pel traçat de la línia, especialment el valor de les rampes, com s'ha estudiat prèviament. També la longitud màxima del tren, i per tant dels punts d'avançament, limiten la càrrega.

Qualsevol d'aquests punts pot fer inviable el tipus de transport corresponent.

R20) Limitacions a les longituds dels trens

La longitud del tren de mercaderies es veurà limitada en primer lloc per la longitud dels PAET de la infraestructura d'alta velocitat, ja que el tren només es podrà apartar deixant lliure la via principal si es pot encabir completament a la via apartada. Les longituds de les platges de les estacions de mercaderies també en poden limitar la longitud de la composició, tot i que en alguns casos es preparen trens en vies més curtes per acabar-se acoblant a mesura que el tren s'expedeix.

De totes maneres, normalment el factor limitant de la longitud és la càrrega màxima del tren, que com s'ha exposat queda restringida principalment per les rampes.

Suposant dues vies amb PAET de 750 m i 400 m respectivament, que permeten longitud de trens de 750 m i 400 m, traccionats amb una o dues locomotores de 20 m de longitud, el número de vagons, i la càrrega remolcable del tren, considerant pesos per eix dels vagons de 20 t i 22,5 t:

$$n_v = \frac{L_{tren} - 2L_{loc}}{L_{vag.}} \quad (5.40)$$

$$Q = n_v \cdot t_{eix} \cdot n_{eix} \quad (5.41)$$

Els resultats pels diferents casos:

Taula 36. Limitació de càrrega per la longitud màxima del tren.

Longitud PAET	Número locomotores	Longitud vagó	Número eixos vagó	Pes per eix vagó (t)	Número vagons	Càrrega remolcable
750	1	20	4	20	36	2880
750	2	20	4	20	35	2800
750	2	20	4	22,5	35	3150
750	1	30	6	20	24	2880
750	2	30	6	20	23	2760
750	2	30	6	22,5	23	3105
400	1	20	4	20	19	1520
400	1	20	4	22,5	19	1710
400	2	20	4	20	18	1440
400	2	20	4	22,5	18	1620
400	1	30	6	20	12	1440
400	1	30	6	22,5	12	1620
400	2	30	6	20	12	1440
400	2	30	6	22,5	12	1620

Pel cas d'una infraestructura amb forts pendents, el valor de les rampes serà el que restringirà la longitud del tren, en imposar límits a la càrrega màxima. Per contra, en línies on els pendents no siguin importants, seran els PAETS els factors restrictius de la càrrega, en no permetre trens més llargs al de les vies d'apartat.

5.5. Criteris de viabilitat

Els criteris són els paràmetres tècnics de referència que indiquen si una línia d'alta velocitat pot ser apte pel tràfic de mercaderies, l'afectació sobre ella i en defineixen les condicions d'exploatació.

Taula 37. Relació entre els criteris i les restriccions.

Restricció		Criteris
DETERMINACIÓ DE LA OPERABILITAT TÈCNICA		
Restriccions que imposa la línia	R3) Efectes de l'encreuament de trens	c1) Entrevista mínim
	R5) Pas per rampes	c2) Rampes màximes
	R12) Possibilitats de creació d'itineraris	c3) Capacitat mínima
	R14) Connectivitat entre LAV i estacions	c4) Connexions mínimes entre estacions
AFECTACIÓ SOBRE EL MANTENIMENT		
Restriccions de manteniment	R17) Efectes sobre l'augment de deteriorament	c5) Deteriorament de la línia
	R18) Augment de la freqüència de control	
CARACTERITZACIÓ DE L'EXPLOTACIÓ		
Restriccions a la qualitat dels trens	R19) Limitacions a la velocitat	c6) Qualitat mínima del transport
	R20) Limitacions en la càrrega portant	
	R21) Limitacions en la longitud	
Restriccions que imposa la línia	R2) Ample de via i eixos	c7) Elements de disseny mínims del material rodant
	R8) Equips de captació energètica	
	R11) Equips embarcats de control-comandament	

5.5.1. Criteris que determinen la operabilitat tècnica

Són els criteris que asseguren la viabilitat de la circulació d'un tren de mercaderies en una línia d'alta velocitat sense especificar les característiques d'aquest servei i les conseqüències sobre la pròpia infraestructura.

C1) Entrevia mínim

Es consideraran adequades per l'encreuament de trens a alta velocitat (250-300 km/h) i mercaderies a velocitats convencionals (100 - 120 km/h), aquelles línies d'alta velocitat amb l'entrevia igual o superior als 4,5 m.

C2) Rampes màximes

Els criteris de diferents administracions ferroviàries consideren com a recomanable el pas de trens de mercaderies en línies amb rampes de fins a 15%. No obstant existeixen diverses línies a Europa amb rampes molt superiors a aquest valor explotades per a trens de mercaderies, i és que el factor restrictiu, com s'ha vist al punt 5.1.1.3.4 és tan la rampa característica com la longitud en què es manté aquesta. Cal doncs establir un criteri que incorpori les longituds de rampa, de manera que valors elevats de rampa en distàncies curtes no suposin un impediment frontal a l'ús dels mercants. Observant l'estudi de A. Bachiller, es poden determinar els criteris per cada longitud de rampa pels casos més restrictius. Per trens d'una locomotora:

Taula 38. Criteris de longitud de rampa per trens d'una locomotora i velocitat inicial de 100 km/h.

Pèrdues de velocitat del 10% - 100 km/h						
1 locomotora						
Rampa%	càrrega (t)	600	800	1000	1200	1400
	Longitud màxima					
	12,5	∞	∞	∞	∞	4
	≤ 15	∞	∞	∞	4	1
	≤ 17,5	∞	∞	9	1	1
	≤ 20	∞	∞	1	1	no
	≤ 22,5	∞	1	1	no	no
	≤ 25	∞	1	no	no	no
	≤ 27,5	∞	1	no	no	no
	≤ 30	3	no	no	no	no
	≤ 32,5	1	no	no	no	no
	≤ 35	1	no	no	no	no

Taula 39. Criteris de longitud de rampa per trens d'una locomotora i velocitat inicial de 120 km/h.

Pèrdues de velocitat del 10% - 120 km/h						
1 locomotora						
Rampa%	càrrega (t)	600	800	1000	1200	1400
	Longitud màxima					
	12,5	∞	∞	∞	3	1
	≤ 15	∞	∞	3	1	1
	≤ 17,5	∞	6	1	1	no
	≤ 20	∞	2	1	1	no
	≤ 22,5	∞	1	1	no	no
	≤ 25	3	1	no	no	no
	≤ 27,5	1	no	no	no	no
	≤ 30	1	no	no	no	no
	≤ 32,5	no	no	no	no	no
	≤ 35	no	no	no	no	no

Per trens de dues locomotores:

Taula 40. Criteris de longitud de rampa per trens de dues locomotores a 100 km/h.

Pèrdues de velocitat del 10% - 100 km/h					
2 locomotores					
Rampa%	Càrrega (t)	1000	1200	1400	1600
	Longitud màxima				
	12,5	∞	∞	∞	∞
	≤ 15	∞	∞	∞	∞
	≤ 17,5	∞	∞	∞	∞
	≤ 20	∞	∞	∞	∞
	≤ 22,5	∞	∞	∞	5
	≤ 25	∞	∞	∞	1
	≤ 27,5	∞	∞	2	1
	≤ 30	∞	4	1	no
	≤ 32,5	∞	1	no	no
	≤ 35	∞	1	no	no

Taula 41. Criteris de longitud de rampa per trens de dues locomotores a 120 km/h.

Pèrdues de velocitat del 10% - 120 km/h					
2 locomotores					
Rampa (‰)	Càrrega (t)	1000	1200	1400	1600
	Longitud màxima				
	12,5	∞	∞	∞	∞
	≤ 15	∞	∞	∞	∞
	≤ 17,5	∞	∞	∞	6
	≤ 20	∞	∞	7	2
	≤ 22,5	∞	∞	2	1
	≤ 25	∞	∞	2	1
	≤ 27,5	∞	1	1	no
	≤ 30	2	1	no	no
	≤ 32,5	1	no	no	no
	≤ 35	1	no	no	no

Qualsevol tren haurà de poder ser capaç d'arrencar si ha hagut d'aturar-se en una rampa.

C3) Capacitat mínima

L'existència de capacitat és una condició necessària per la incorporació de trens de mercaderies en una línia d'alta velocitat. Si els serveis que circulen per la línia no estan propers al punt de congestió de la línia, i és possible planificar itineraris per vehicles suposadament més lents que els circulants sense haver d'interrompre els seus propis recor-

reguts o afectar-ne les velocitats, serà viable el pas del mercant des del punt de vista de la viabilitat. Per això es determinarà el consum de capacitat K de la línia. No serà possible fer circular més trens quan $K \cong 60\%$ al llarg del dia.

Donada la baixa velocitat dels trens de mercaderies en comparació al material ràpid que circula per la línia, cal disposar de punts d'avançament per no afectar als itineraris previstos per aquests últims.

C4) Connexions mínimes entre estacions

Per poder expedir o rebre trens circulants en línies d'alta velocitat, caldrà que aquestes estiguin connectades a les estacions on es pretén fer circular el servei.

5.5.2. Criteris que determinen l'afectació sobre el manteniment

Aquests criteris serviran d'avaluació per l'administrador ferroviari de la línia, agent que determinarà en última instància l'acceptació de l'explotació de la línia d'alta velocitat per al transport de mercaderies.

C5) Deteriorament de la línia

Se suposaran vàlides les aproximacions realitzades als punts precedents on es consideren augments del deteriorament de la via a causa del tràfic de mercaderies aproximats al 20%.

5.5.3. Criteris que caracteritzen l'explotació

Són els criteris que defineixen, condicionen o restringeixen els serveis de mercaderies que poden operar en una línia d'alta velocitat. Aquests criteris serviran d'avaluació pels operadors ferroviaris, qui en última instància ha de determinar la seu interès en l'explotació de la línia d'alta velocitat per al transport de mercaderies.

C6) Qualitat mínima del transport

La qualitat mínima del transport de mercaderies que permet el disseny de la línia determina l'interès dels operadors a establir el negoci.

- *Velocitat màxima*: la velocitat comercial quedarà definida de la presència de capacitat suficient per no haver de realitzar excessius apartaments dels trens en cedir el pas als mercants, la potència de les locomotores, i els sistemes de seguretat.
- *Càrrega màxima*: la càrrega màxima en una línia d'alta velocitat quedarà especialment restringida per les rampes.

- *Longitud màxima*: la longitud màxima dels trens quedarà definida per les longituds de les vies d'apartat dels PAET i les estacions de viatgers, o de les vies de formació dels trens a les estacions de mercaderies. Per restar limitada per criteri de càrrega a portar.

C7) Elements de disseny mínims

Els elements de disseny imprescindibles pel material rodant són:

- *Ample d'eixos*: els vehicles a circular han de tenir eixos del mateix ample que la línia d'alta velocitat (normalment ample UIC internacional de 1435 mm), o bé amb sistema d'ample d'eixos variable.
- *Equips de captació energètica*: en cas de locomotores amb tracció elèctrica, s'haurà d'equips per captació de tensió d'alta velocitat (normalment 25 kV).
- *Equips embarcats de control-comandament*: la locomotora ha de disposar del sistema de seguretat amb què s'opera la línia d'alta velocitat, o si n'hi ha diversos, almenys un d'ells.

6. ESTUDI DE VIABILITAT PARTICULAR

6.1. Caracterització de la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona

En aquest capítol s'analitzaran de forma detallada les característiques tècniques infraestructurals i d'exploació de la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona.

El corredor d'alta velocitat que connecta Madrid amb la frontera francesa a través de Saragossa i Barcelona no està encara acabat. La connexió entre Madrid i Barcelona està operativa per a trens de passatgers des de l'any 2008, però de Barcelona a la frontera encara no; i és que a data d'avui només hi ha dos trams acabats, i no hi ha serveis de passatgers operant des de la capital catalana.

6.1.1. Caracterització de les variables de disseny

6.1.1.1. Característiques tècniques de la infraestructura

Se'n destaquen les següents característiques infraestructurals comunes per tots els trams:

Taula 42: Característiques generals del la LAV Madrid - Saragossa - Barcelona

Carril	UIC 60 kg/m E1
Entre vies	4,7 m
Amplada plataforma	12 m

6.1.1.2. Descripció del traçat

A continuació s'estudiaran detalladament els diferents trams que conformen la línia, aquí definits entre les 7 estacions de passatgers operatives. La descripció segueix el sentit de quilometratge definit per la línia (La estació de Madrid Atocha és el km 0), equivalent a una circulació Madrid - Barcelona.

6.1.1.2.1. Tram Madrid - Guadalajara

Primer tram de la línia, entre l'estació Porta Atocha de Madrid i l'estació Guadalajara-Yebes. Destaquen les següents característiques:

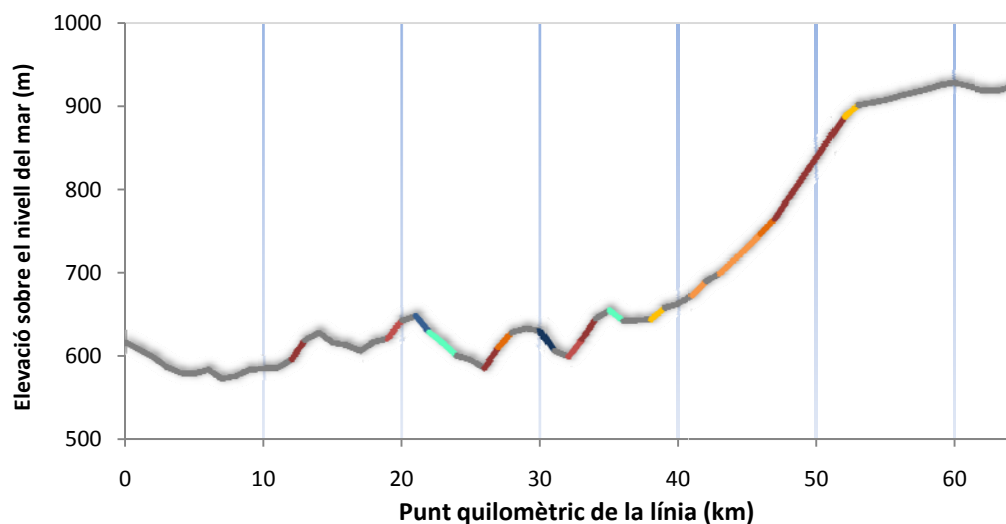
Taula 43. Traçat del tram Madrid - Guadalajara [62].

Distància	64 km	
Rampa característica	25 ‰	
Velocitat màxima	310 km/h	
Estacions		
Punt quilomètric	0.0	Estació Madrid Puerta de Atocha
	2.4	Bifurcació Cerro Negro (LAV Madrid-Sevilla). Només en sentit Barcelona.
	7.9	PB Madrid-Sur
	11.5	Bifurcació Valdemingómez (bypass).Només en sentit sud.
	26.9	PB Mejorada del Campo
	42.6	PB Alcalá de Henares AV
	64.4	Estació Guadalajara Yebes

S'ha determinat el perfil longitudinal mitjançant el software Google Earth, a través dels perfils d'anivellació que ofereix el programa en una ruta imposada. Els resultats dels gradients horitzontals de cada tram es recopilen a l'annex 1, on es pot consultar l'increment dels gradients en diversos intervals així com els diagrames de nivell. A continuació es mostra el corresponent diagrama del tram Madrid - Guadalajara, amb detall a l'annex 2.1.

TRAM MADRID-GUADALAJARA

PERFIL LONGITUDINAL



6.1.1.2.2. Tram Guadalajara - Calatayud

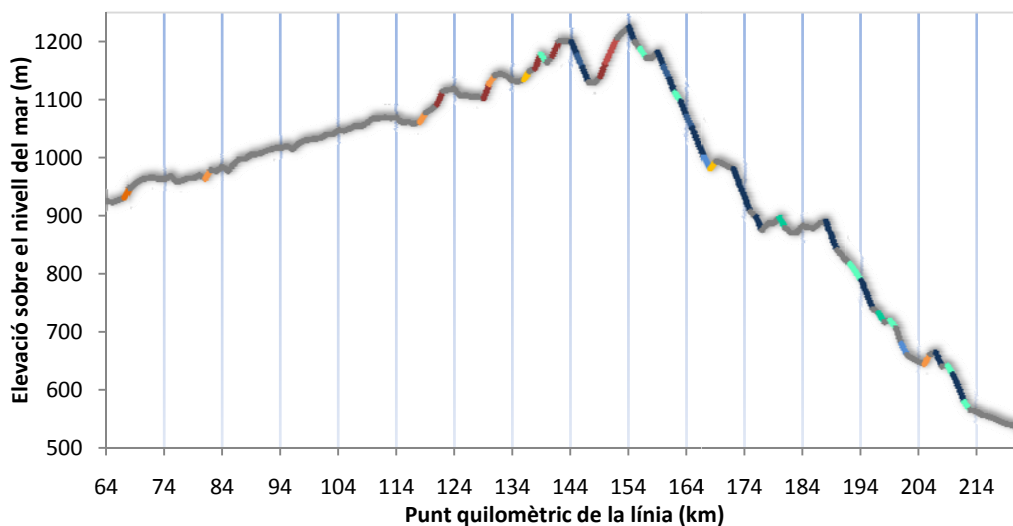
Segon tram de la línia, caracteritzat per:

Taula 44. Traçat del tram Guadalajara - Calatayud [62].

Distància	157 km
Rampa característica	25 ‰
Velocitat màxima	320 km/h
Estacions	
Punt quilomètric	93.3 PB Brihuega
	116.0 PAET Las inviernas
	134.2 PB Alcolea del Pinar
	155.0 PB Medinaceli AV
	181.7 PAET Ariza AV
	197.3 PB Alhama de Aragón AV
	221.3 Estació de Calatayud

El perfil següent es pot consultar en detall a l'annex 2.2.

TRAM GUADALAJARA - CALATAYUD
PERFIL LONGITUDINAL



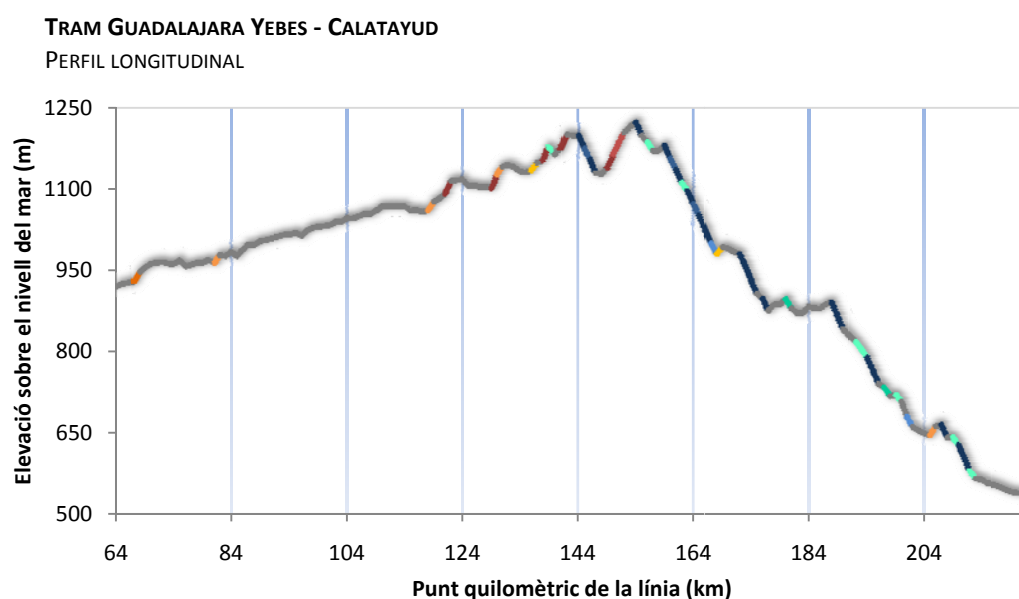
6.1.1.2.3. Tram Calatayud - Saragossa

Tram que transcorre íntegrament a la comunitat d'Aragó, unint aquestes dues capitals de província. Es defineix entre l'estació de Calatayud i Zaragoza Delicias. Es caracteritza per:

Taula 45. Traçat del tram Guadalajara - Calatayud [62].

Distància		86 km
Rampa característica		25 ‰
Velocitat màxima		300 km/h
Estacions		
Punt quilomètric	251.0	PB Ricla
	272.9	Bifurcació al canviador d'ample de Plasencia de Jalón.
	273.4	PAET Plasencia de Jalón
	289.7	PB Guallar
	294.9	Bifurcació Moncasi
	305.1	Bifurcació al canviador d'ample de Saragossa-Delicias
	306.7	Estació de Saragossa Delicias
	311.7	Bifurcació Osca
	320.8	Bifurcació Canal Imperial

El perfil següent es pot consultar en detall a l'annex 2.3.



6.1.1.2.4. Tram Saragossa - Lleida

El tram es defineix des Zaragoza Delicias fins a Lleida Pirineus. Transcorre a través de l'àrida zona dels Monegros, en un traçat sense incidències destacables.

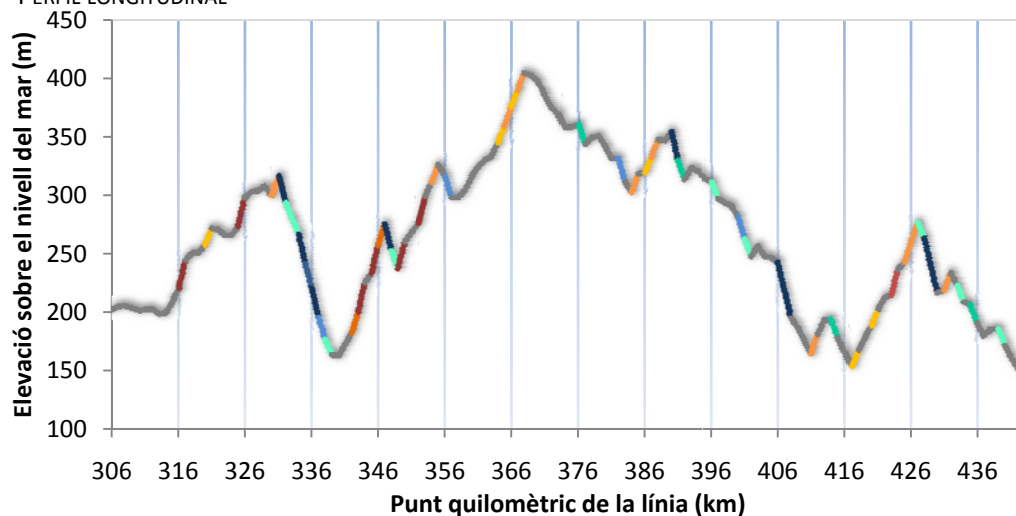
Taula 46. Característiques del tram Saragossa - Lleida [62].

Distància	153 km	
Rampa característica	25 ‰	
Velocitat màxima	300 km/h	
Estacions		
Punt quilomètric	306.7	Estació de Saragossa Delicias
	311.7	Bifurcació Osca
	320.8	Bifurcació Canal Imperial
	320.0	PB Burgo de Ebro AV
	342.1	PB Pina de Ebro AV
	356.5	PAET Bujaraloz
	372.6	PB Valfarta
	396.8	PAET Ballobar
	419.9	PB Vallmanya
	430.3	PB Montagut
	434.6	Bifurcació Les Torres de Sanuí
	442.1	Lleida Pirineus

El perfil següent es pot consultar en detall a l'annex 2.4.

TRAM SARAGOSSA - LLEIDA

PERFIL LONGITUDINAL



6.1.1.2.5. Tram Lleida - Tarragona

El tram es defineix des de Lleida Pirineus fins a l'estació del Camp de Tarragona

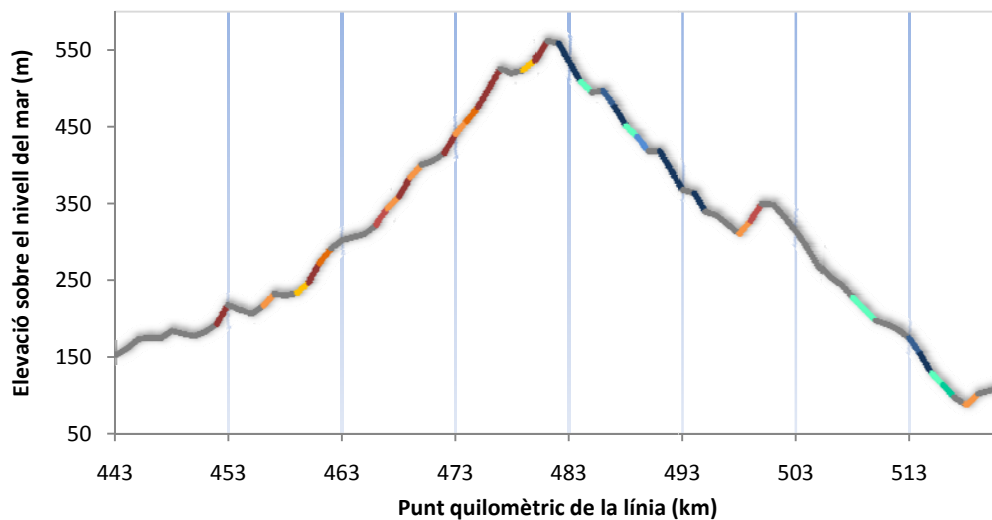
Taula 47. Característiques del tram Saragossa - Lleida [62].

Distància	69 km
Rampa característica	25 ‰
Velocitat màxima	300 km/h
Estacions	
Punt quilomètric	442.1 Lleida Pirineus
	448.6 Bifurcació Artesa
	456.6 PB Les Borges
	488.9 PAET de L'Espluga de Francolí
	509.3 PB L'Alcover
	512.8 Futura bifurcació al Corredor Mediterrani
	520.9 Estació del Camp de Tarragona

El perfil següent es pot consultar en detall a l'annex 2.5.

TRAM LLEIDA - TARRAGONA

PERFIL LONGITUDINAL



6.1.1.2.6. Tram Tarragona - Barcelona

És el tram final de la línia operativa, que uneix l'estació del Camp de Tarragona amb Barcelona - Sants.

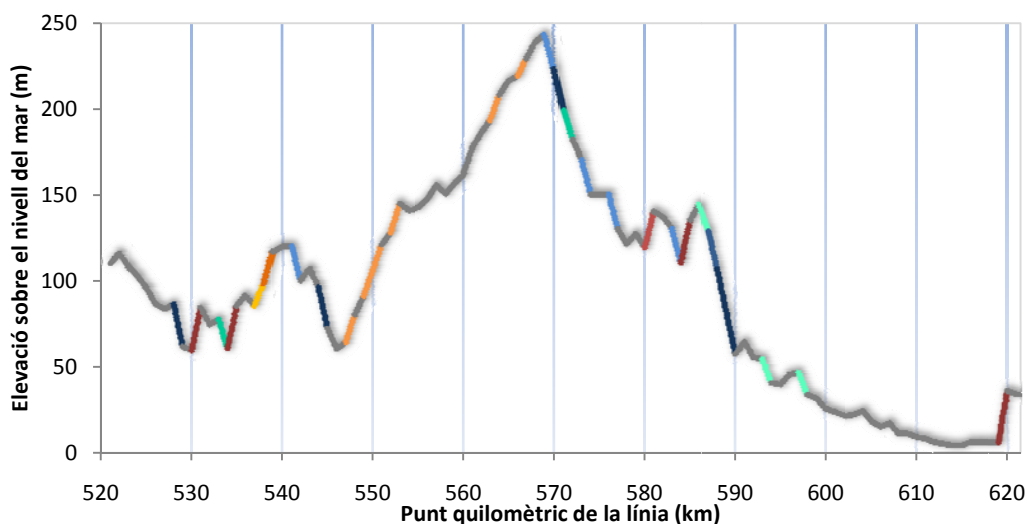
Taula 48. Característiques del tram Saragossa - Lleida [62].

Distància	100 km	
Rampa característica	30‰	
Velocitat màxima	300 km/h	
Estacions		
Punt quilomètric	520.9	Estació del Camp de Tarragona
	534.7	PB Montornès
	552.7	PAET L'Arboç
	565.9	PAET Vilafranca del Penedès
	579.6	PB Gelida
	595.8	PB Sant Vicenç dels Horts
	620.9	Barcelona Sants

El perfil següent es pot consultar en detall a l'annex 2.6.

TRAM TARRAGONA- BARCELONA

PERFIL LONGITUDINAL



6.1.1.3. Connexions a la resta de la xarxa ferroviària

La línia d'alta velocitat es troba connectada a la resta de la xarxa ferroviària en diversos punts. A continuació s'estudiaran els punts segons si connecten la LAV amb la via con-

vençional per canvi d'ample, per tercer carril, o bé si connecten amb la resta de línies d'alta velocitat.

- **Connexions a la xarxa convencional per canvi d'ample**

La majoria de punts de connexió de la LAV a la xarxa convencional es realitza a través d'intercanviadors d'ample dels eixos dels trens.

- **Connexions a la xarxa convencional amb tercer carril**

Són aquells punts del tram d'alta velocitat Barcelona - frontera francesa que es troben connectats directament a la via convencional gràcies a la incorporació d'un tercer carril a aquesta última, de manera que els trens es poden transferir d'una línia a l'altre mantenint un ample d'eix UIC sense necessitat de intercanviadors (veure punt 4.2).

- **Connexions a la resta de xarxa d'alta velocitat**

Són els punts de connexió on la LAV Barcelona Madrid es troba amb les altres línies d'alta velocitat.

- *Connexió amb la línia d'Osca:* Tot i que estrictament no és una línia d'alta velocitat, la prolongació de la via des de Saragossa fins a Osca permet l'arribada de l'AVE a aquesta ciutat.
- *Connexió amb el bypass de Madrid cap als corredors ibèrics:* poc després de l'estació Madrid-Atocha els diferents corredors se separen entre les branques del nord, de llevant i del sud.
- *Futura connexió amb el corredor Mediterrani:* situada abans d'arribar a l'estació del Camp de Tarragona, permetrà enllaçar directament amb la línia d'alta velocitat cap a València.



Fig. 43. Futura connexió amb el corredor mediterrani [67].

6.1.1.4. Característiques tècniques d'exploació

L'objectiu d'aquest apartat és determinar la ocupació i capacitat de la línia d'alta velocitat, per això s'estudiaran els serveis de trens que circulen. La línia presenta les següents característiques d'exploació:

Taula 49. Característiques principals d'exploació de la línia [62].

Punts de banalització (PB)	25 PB
Longitud màxima trens	400 m
Sistemes de seguretat	ERTMS (ETCS i GSMR), ASFA
Apartadors (PAET)	8 (7+1)

Si bé actualment l'estació de Vilafranca es considera un PAET, en un futur s'adaptarà a estació de viatgers

6.1.1.4.1. Senyalització i control-comandament

La línia Madrid - Barcelona incorpora els sistemes de senyalització i seguretat ASFA i ERTMS nivell 1 i 2.

D'aquesta manera els trens que disposen de ERTMS circulen utilitzant aquest sistema, permetent escurçar els temps de viatge i augmentant les velocitats màximes. És el cas dels serveis comercials que es descriuen a continuació. El trens que circulen amb servei ASFA veuen limitada la seva velocitat màxima als 200 km/h, fet pel qual els temps de

viatge s'allarguen substancialment. Actualment ja només presenten aquest cas trens especials o marquesines de manteniment.

6.1.1.4.2. *Electrificació*

La línia està electrificada íntegrament a 25 kV 50 Hz. Al tram Madrid-Barcelona hi ha (15 + les de Lleida-BCN) subestacions que proporcionen una tensió de 2x25 kv a 50 Hz tant durant el dia com la nit, pel funcionament tant de circulacions de trens com de qualsevol dels sistema utilitzats i així garantir el bon funcionament de les instal·lacions.

6.1.1.5. **Parc motor circulant**

Es descriu a continuació el material rodant que circula per la línia d'alta velocitat Madrid-Barcelona i de l'únic que actualment circula per la de Barcelona-frontera francesa. Les diferents unitats descrites estan classificades segons el tipus de servei ofert. Cal destacar que el parc motor total de serveis d'alta velocitat que disposa Renfe és més extens, però en aquest capítol només resulta d'interès descriure aquell material que circula per la línia que s'està analitzant en el present treball.

6.1.1.5.1. *AVE*

Alta Velocidad Española, és la marca amb què Renfe opera els trens d'alta velocitat de major gama, operant des de fa 20 anys. Circulen únicament per línies d'ample internacional.

- **Sèrie 102**

Tren d'alta velocitat fabricat per Talgo i Bombardier. Tot i que inicialment realitzaven el servei fins Lleida i després fins a Tarragona, des de l'arribada de l'alta velocitat a Barcelona la sèrie 102 s'ha redirigit cap al corredor sud i central, mantenint aquesta unitat en el servei d'Osca.

- **Sèrie 103**

És el tren més ràpid en velocitat comercial. Està fabricat per Siemens, anomenat Velaro E, ja que es basa en el model Velaro desenvolupat per la companyia amb unes característiques especials sol·licitades per Renfe: funcionament en rang de temperatures major i potència més elevades per tal de poder recórrer els més de 600 km que separen Madrid de Barcelona en 2h i 30 min, temps de viatge que a data d'avui ja s'està oferint comercialment.

Renfe va sol·licitar 26 unitats d'aquesta sèrie, que ha estat homologada per circular a 350 km/h. Durant els primers anys de servei, les unitats van circular a màximes de 300 km/h, mentre que amb els avenços en senyalització a la línia ja s'assoleixen els 310 km/h.

- **Sèrie 112**

La sèrie de trens 112 de Renfe la formen un total de 30 unitats fabricades per Talgo i Bombardier que representen una evolució respecte la sèrie 102, l'anomenat "Pato". Tot i que la serie ha estat dissenyada per circular a velocitats màximes de 350 km/h, la homologació s'ha fet a 330 km/h.

6.1.1.5.2. *Alvia*

Servei ferroviari de llarga distància a velocitat màxima de 250 km/h. La principal característica dels trens Alvia és que utilitzen en un mateix recorregut línies d'alta velocitat en una part i línies convencionals a la resta, amb un canviador d'ample entre elles. Es realitzen amb els trens de les series 120 i 130, si bé les unitats 130 (els anomenats "Patitos") es reserven pels corredors transversals (LAV Madrid-Llevant i LAV Madrid-Valladolid) i sud (LAV Madrid-Sevilla) i no seran descrites en aquest treball.

- **Sèrie 120 de Renfe**

Fabricats per Alstom i CAF, els trens S-120 destaquen pel seu sistema de tracció distribuïda i els bogies BRAVIA, que permeten realitzar un canvi d'ample en menys d'un minut sense aturar-se. A més a més, són trens bitensió per poder circular pels dos tipus de línies.

Al corredor nord-est, els serveis Alvia enllacen Madrid i Barcelona amb el nord d'Espanya, realitzant el canvi d'ample a Plasencia de Jalón quan s'efectua la connexió amb la capital de l'estat, i al canviador de Saragossa quan aquesta s'efectua amb la capital catalana.

6.1.1.5.3. *Avant*

Són els serveis d'alta velocitat a mitja distància o regionals, anteriorment anomenats Llançadores AVE.

- **Sèrie 104 de Renfe**

És un tren dissenyat per oferir serveis de menys de una hora mitja de viatge, sense classe club i amb nombre de places per classe preferent molt baix (31 respecte els 205 de classe turista). Pertany a la família de trens Pendolino desenvolupats per *Fiat Ferroviaria*, posteriorment absorbida per Alstom. A la línia d'alta velocitat Madrid Barcelona els Avant serie 104 efectuen el servei Barcelona-Lleida i el Saragossa-Calatayud.

6.1.1.5.4. *Trenhotel*

Servei nocturn de llarga distància amb seients en turista i preferent, cabines de 4 llits a turista i 1 o 2 a preferent. Connecta gran part d'Espanya i algunes ciutats de Portugal, França, Suïssa i Itàlia. En aquesta part però només s'estudiarà el Trenhotel "Galicia", que és el que a hores d'ara segueix una part del seu recorregut per via d'alta velocitat.

- **Talgo VII**

Constitueix la sèrie més moderna dels clàssics cotxes remolcats Talgo, amb velocitats màximes de 220km/h. A la línia només hi circulen per tal d'enllaçar Barcelona amb la costa occidental espanyola, a Galícia i Astúries, realitzant el canvi d'ample a Saragossa, de manera que en la seva primera part el recorregut és igual al dels Alvia, si be els temps de viatge són menors a causa de la seva velocitats comercial inferior.

6.1.1.6. Capacitat de la línia

L'exploració de la línia d'alta velocitat entre Madrid i Barcelona l'efectua únicament Renfe. Hi ha gran varietat de rutes comercials, amb diverses velocitats i freqüències detallades a continuació.

Donat que la connexió amb França encara no està acabada i per tant els serveis i freqüències que oferirà Renfe en aquest tram encara no es coneixen, no se n'estudiarà la capacitat. De totes maneres, sembla segur que el nombre de trens de passatgers serà inferior als trens que circulen diàriament a la relació Madrid-Barcelona, i per això les conclusions de capacitat seran també vàlides per la futura línia.

6.1.1.6.1. Itineraris

Els recorreguts que segueixen els diferents trens que operen la LAV queden recollits en aquesta taula.

Taula 50. Serveis comercials de viatgers operant la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona.

Servei	Itinerari	Canviador	Tren
AVE	Madrid - Barcelona	-	S -103
	Madrid - Saragossa - Barcelona	-	S -103
	Madrid - Guadalajara - Calatayud - Saragossa - Lleida - Tarragona - Barcelona	-	S - 103
	Madrid - Osca	-	S - 102
	Barcelona - Saragossa - Ciudad Real LAV Sud	-	S- 112
ALVIA	Madrid - Logroño	Plasencia de Jalón	S - 120
	Madrid - Pamplona		
	Vigo - Barcelona	Saragossa	S - 120
	Irún - Barcelona		
	Bilbao - Barcelona		
AVANT	Barcelona - Tarragona - Lleida	-	S-104
	Saragossa - Calatayud	-	S-104
TRENHOTEL	Barcelona - Vigo	Saragossa	Talgo VII
	Barcelona - Gijón		

El detall dels itineraris de cada servei queda recollit a l'annex 2.2.

6.1.1.6.2. Horaris comercials i diagrames d'ocupació

Adif defineix tres tipus de períodes en els horaris ferroviaris diaris.

Taula 51. Períodes horaris que estableix Renfe. Font:

Període	Tram horari	
	Inici	Final
Vall	0:00	6:59
Punta	7:00	9:29
Normal	9:30	17:59
Punta	18:00	20:29
Normal	20:30	23:59

Els horaris s'han concretat a partir de les lectures d'un dia qualsevol, des la pàgina web de Renfe operadora [68]. Es poden consultar els horaris a l'annex 2.1.

A partir dels horaris que proporciona Renfe i els punts quilomètrics de les estacions de la LAV s'han efectuat els gràfics de capacitat, que es poden consultar a l'annex 2.3. Com es pot observar al gràfic, la línia presenta una considerable ocupació als matins fins a les 11:00, alleugerint-se el tràfic des de llavors fins a les 15:00, moment en què es tornen a intensificar les circulacions fins al vespre. Resulta útil subratllar que no existeixen serveis de les 12 de la nit a les 6 del matí, si be en l'estudi de cada sentit de circulació, s'observa que el sentit anada, definit com a Madrid-Barcelona, es troba lleugerament més ocupat que el de tornada, fet pel qual tots els anàlisis posteriors de la línia seran relatius a aquest sentit (la capacitat a l'altre sentit serà sempre major).

6.1.2. Terminals de mercaderies properes a la línia

En el trajecte que segueix la LAV es trepitgen quatre zones d'intensa activitat econòmica, on les bones comunicacions són un factor bàsic per garantir el seu posicionament preferent en la rentabilitat dels . Madrid, Saragossa, Tarragona i Barcelona són les àrees de màxima productivitat en el corredor nord-est espanyol i també de tot l'estat. De moment el Port de Barcelona, el més proper d'aquests nuclis forts de la productivitat a Europa gràcies a la utilització mixta de la LAV Barcelona-frontera francesa, conta ja amb connexió ferroviària en ample UIC, si be les grans terminals dels altres llocs presenten l'adaptació de les seves vies com a qüestió prioritària.

6.1.2.1. Estacions de mercaderies connectades a la línia amb ample UIC

Actualment les úniques terminals de mercaderies connectades a Europa amb ample UIC són Can Tunis i el Morrot, ambdues donant servei principalment al Port de Barcelona.

- **Can Tunis**

Situada al districte de Sants-Montjuïc de Barcelona i a una petita part de l'Hospitalet, Can Tunis te actualment una doble funció, ja que per una banda serveix d'estació ferroviària de mercaderies del Port de Barcelona, i per l'altra actua com a centre de tractament tècnic dels trens de la línia d'alta velocitat Madrid-Barcelona. Té accés al ramal de mercaderies via mixta fins a Castellbisbal, a la línia Barcelona-Martorell-Vilafranca, i a la LAV en direcció Sants.

- **Morrot**

Estació terminal de mercaderies del port de Barcelona, situada al districte Sants-Montjuïc entre la Ronda Litoral i la Terminal Port Nou. S'hi accedeix a través de l'estació de Can Tunis.

6.1.2.2. Estacions de mercaderies d'ample ibèric

Són aquelles grans terminals connectades a la xarxa convencional de ferrocarril que es troben geogràficament a prop del pas de la LAV Madrid - Barcelona. S'han dividit en tres grans àrees, el camp de Tarragona, la zona de Saragossa i el Corredor d'Henares.

6.1.2.2.1. Corredor d'Henares

El corredor del Henares és una franja de 50 km de longitud situada a través de la carretera N-II, en el seu tram des de Madrid fins a Guadalajara, travessada per la línia de ferrocarril Madrid - Barcelona. És un espai que acull una de les majors densitats de sòl industrial de la península.

- **Port Sec d'Azuqueca de Henares**

Terminal intermodal del promotor privat Gran Europa, impulsada pel Port de Barcelona i participada per Transfesa i els ports de Bilbao i Santander. Està situada a la zona estratègica del corredor de Henares, a la província de Guadalajara, on es troben centres logístics i industrials de gran importància. Es configura com a recinte duaner depenent de la duana de Guadalajara. Excepte vehicles admet tot tipus de càrregues, des de contenidors, granel, siderúrgics o grans càrregues. Disposa de dues principals vies de 490 m, la 2 i la 3, electrificades i telecomandades, que en treball conjunt permeten la formació de trens de 750m. L'accés a la terminal s'efectua a través d'una llarga via de 3000 m des de la línia convencional Madrid-Barcelona, des de la qual també es té accés a tres molls per descàrrega de mercaderies generals. Està operada principalment per Renfe i Continental Rail.



Fig. 44. Situació de les estacions de mercaderies del Corredor d'Henares i connexions amb la xarxa ferroviària. Elaboració pròpia amb Google Earth.

- **Port sec de Coslada**

Terminal que forma part de l'Asociación Madrid Plataforma Logística MPL, gestionada per Conerail, formada per Dragados i Renfe, tot i que fou impulsada de forma pública per l'ajuntament de Coslada, la Comunitat de Madrid i Puertos del Estado. Atén els ports de Bilbao, Algeciras, Barcelona i València i el hinterland terrestre situat entre el corredor de Henares i la zona sud de Madrid. Està configurat com a duana marítima interior a nivell europeu, tot i que de moment només per carretera.

En els últims anys però el tràfic ferroviari s'ha centrat exclusivament amb el Port de València, resultant nul·les les connexions amb Algeciras i Bilbao, i insignificants amb Barcelona. L'operen Renfe, Continental Rail, Logitren i Transfesa.

- **Madrid Abroñigal**

Terminal situada a prop de Madrid Puerta de Atocha, circumdada per la M-30. Actua com a duana ferroviària gràcies a la col·laboració d'Adif amb l'Agència Tributària, fet que agilitza les operacions burocràtiques donant compatibilitat als tràfics internacionals per ferrocarril. Opera tots els dies de l'any prestant serveis de recepció, gestió administrativa duanera, moviment i estança de contenidors, inspecció fitosanitària, etc. La seva situació estratègica i concessions tributaries conformen els grans avantatges d'aquesta terminal, que es veuen reflectits en un increment interanual de les mercaderies aduaneres del 30% respecte el 2011.

La basta platja ferroviària conta amb 15 vies electrificades i telecomandades, de les quals destaquen la 1 amb 710 m, la 7 amb 550 m i la 5 amb 520m permeten la formació de llargs trens.

6.1.2.2.2. Àrea de Saragossa

Dues grans terminals rodegen la ciutat de Saragossa, amb el TmZ al nord i Zaragoza Plaza al sud.

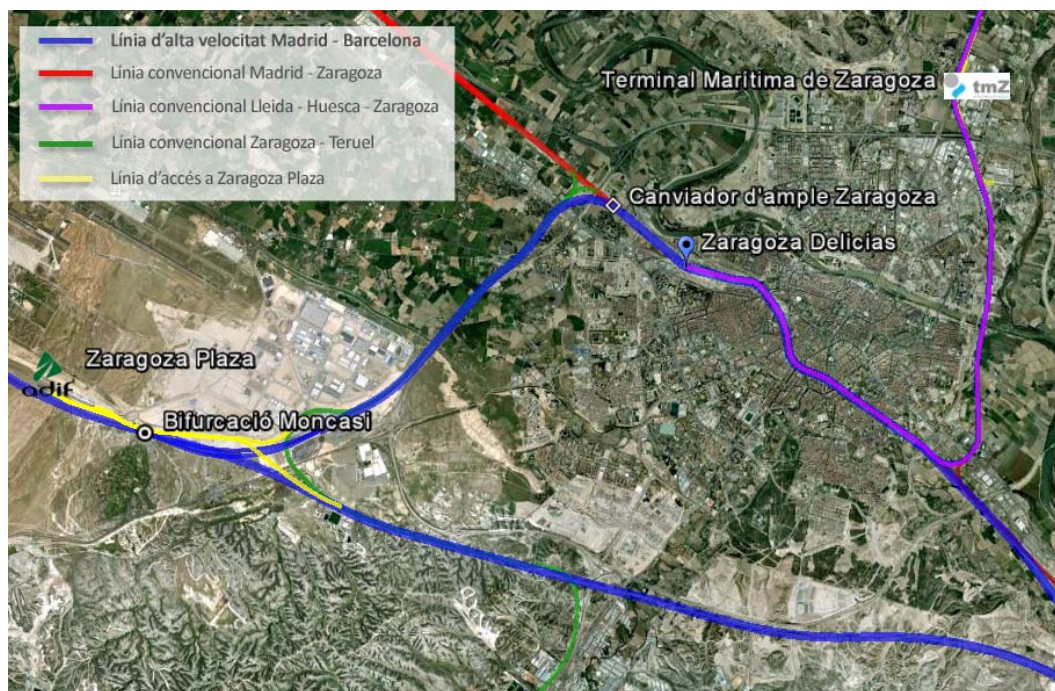


Fig. 45. Situació de les estacions de mercaderies de l'àrea de Saragossa i connexions amb la xarxa ferroviària. Elaboració pròpia amb Google Earth.

- **Zaragoza Plaza**

Aquesta és la més gran i nova de les terminals intermodals d'Espanya; va ser inaugurada al 2008 i ocupa més d'un milió de metres quadrats. Té una connectivitat privilegiada, en estar situada a 15 km del centre de Saragossa, al costat de l'autovia Madrid-Barcelona, i de les línies convencionals entre Madrid i Barcelona i Saragossa i València. Disposa de tota mena de modernes tecnologies de control de tràfic, inspecció de contenidors i equips logístics. Té un tràfic d'unes 5.000 teus mensuals, i opera uns 14 trens diaris.

Les sis vies principals de la terminal tenen longituds entre 750 i 830 m, electrificades en capçalera i telecomandades.

- **Terminal Marítima de Saragossa (tmZ)**

La importància d'aquesta terminal es basa en la seva ubicació estratègica, ja que es troba al centre del corredor terrestre Barcelona - Madrid i a 300 km de Bilbao, València i Tolouse. És una iniciativa de Mercazaragoza, Port de Barcelona, i accionistes privats (Hu-

tchinson a través de TERCAT, TCB i Comsa). La tmZ fa la funció de port sec, i s'alimenta d'una efectiva i directa connectivitat amb el Port de Barcelona. Des del 2011, la terminal ha duplicat la capacitat de recepció de trens i ha ampliat les vies d'apartat per poder operar trens de 750 m de longitud. Aquesta inversió va estar motivada per ll creixement de l'activitat de la terminal, que va passar dels 6553 teus al 2008 a 39400 al 2010 (suposant un 500% d'activitat). Els trens han sigut cada vegada més llargs, amb més càrrega i amb múltiples destins.

6.1.2.2.3. Camp de Tarragona

A la zona del camp de Tarragona destaca la importància ferroviària del Port de Tarragona. Hi ha també dues estacions d'Adif, Tarragona Mercaderies i el centre logístic de Constantí.



Fig. 46. Situació de les estacions de mercaderies del Camp de Tarragona i connexions amb la xarxa ferroviària. Elaboració pròpia amb Google Earth.

- **Port de Tarragona**

El Port de Tarragona, situat a la zona sud-est del nucli urbà, és el cinquè més important d'Espanya. Es dedica al tràfic especialitzat i diversificat, destacant el de productes químics, automòbils, contenidors o carbó. Mou entorn d'uns 33 milions de tones anuals.

Dues línies ferroviàries amb origen a Tarragona travessen el port, la de Salou en direcció València i la de Vilaseca Reus que a Reus es bifurca cap a Lleida o Móra la Nova. Les bo-

nes comunicacions ferroviàries del port van acompanyades d'una aposta ferma per aquest mode.

Pel que fa a la xarxa ferroviària interna el port disposa de 27,8 quilòmetres –la major part de via doble però també de via única- que donen servei a tots els molls. El trànsit ferroviari es calcula en uns 2 milions de tones anuals, mentre que el viari el supera clarament amb uns 10 milions.

Les autoritats del Port de Tarragona i Ferrmed han arribat a un consens per impulsar la connexió del Port de Tarragona amb la xarxa europea a través del remodelat de la línia Reus-Roda.

- **Tarragona Mercaderies**

És la terminal d'Adif situada al nord del Port de Tarragona i a l'est de la ciutat. Disposa de més de 5 km de vies electrificades i telecomandades i 6 km no electrificats amb enclavaments manuals. Emplaçada estratègicament entre les línies de València - Tarragona i la de Saragossa - Móra - Tarragona, la terminal dóna servei principalment al complex industrial petroquímic. Hi opera preferentment Bayer (que controla 6 km de via), Repsol (amb 4 km de via, reservats al Butà) i el propi Port de Tarragona (3 km) entre altres.

- **Centre logístic de Constantí**

Terminal d'Adif dedicada principalment al tràfic de contenidors, situada junt a un gran polígon industrial a qui dóna servei, a l'est de Reus. L'accés a l'estació es realitza en un tram conservat de l'antiga línia Reus - Roda de Barà que es bifurca de la línia Tarragona - Reus - Lleida. Junt amb la branca d'accés, les vies de la terminal sumen un total de 10 km. La operadora Comsa Rail te la seva base en aquesta estació.

Més enllà de la terminal la línia continua fins a El Morell, on s'arriba al complex petroquímic de Repsol.

Disposa de diverses grues pòrtic i mòbils, així com una locomotora dièsel 311 assignada. La terminal no està electrificada, tot i que Adif ha anunciat que electrificarà la branca d'accés des de Reus i gran part de les vies.

6.1.2.3. Estacions de mercaderies d'ample mètric

La xarxa de via mètrica a Catalunya la opera exclusivament FGC. Està formada pel corredor Llobregat - Anoia, i conta amb la línia principal des de Barcelona fins a Martorell, amb via doble en tot el recorregut, i amb dues línies que es bifurquen des de Martorell fins a Manresa i Igualada. En la primera branca s'hi troben les dues terminals mineres de sal que explota Iberpotash. La rellevància d'aquestes estacions de mercaderies en el present treball rau en el fet que aquesta empresa te en projecte la connexió a la xarxa ferroviària europea per tal d'augmentar el volum de negoci exportador de sal a través dels serveis de mercaderies de FGC. Per això es troba en projecte actualment l'adaptació

a l'ample UIC de la branca de mercaderies no electrificada de Súria a Manresa, i la pròpia línia electrificada i compartida amb viatgers fins a Martorell.

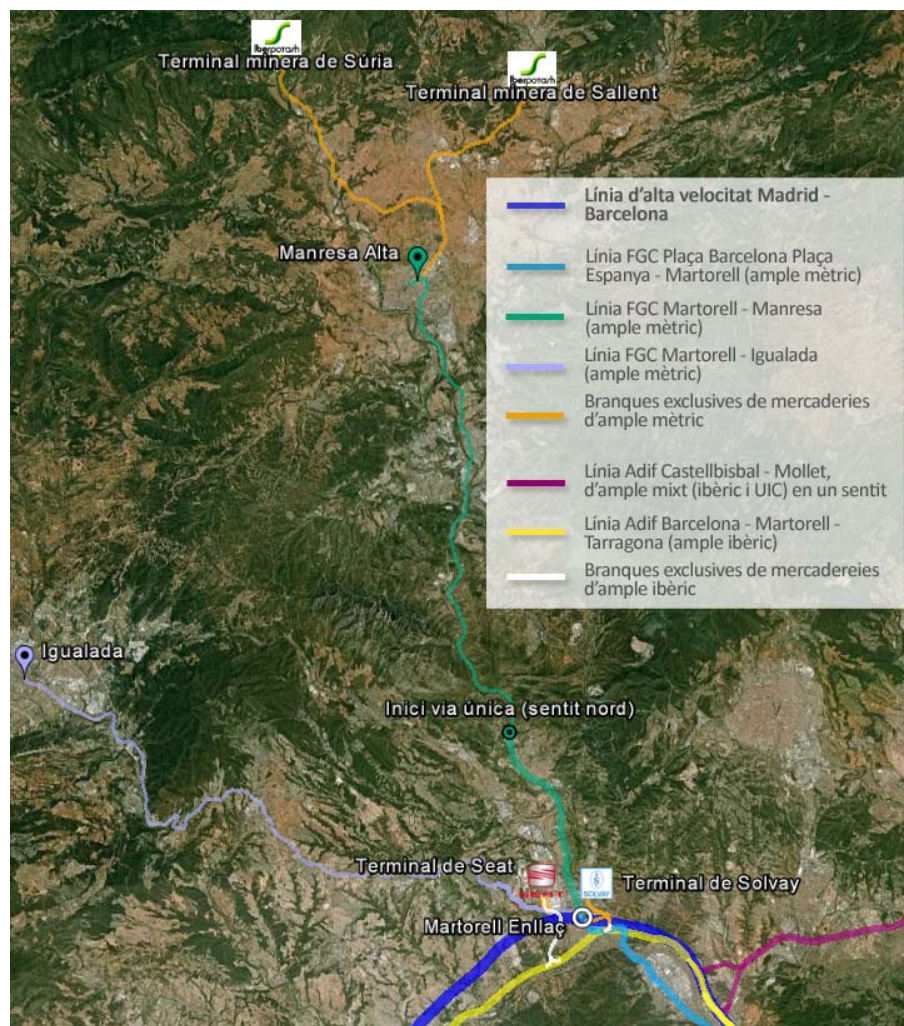


Fig. 47. Xarxa de via estreta de FGC i terminals connectades a la línia. Elaboració pròpia amb Google Earth.

• Terminals mineres de Súria i Sallent

Les dues terminals mineres que explota Iberpotash a la comarca del Bages estan connectades a les seves destinacions per ferrocarril. De la mina de Súria s'extreu sal (clorur sòdic), que FGC transporta, mitjançant tremuges oberts remolcats per una locomotora 254, fins a la terminal de Solvay a Martorell. De la mina de Sallent s'extreu potassa (clorur potàssic), que es transporta fins al Port de Barcelona amb les mateixes locomotores de FGC remolcant vagons tremuja tancats. Totes dues terminals estan situades al mateix recinte miner, fet pel qual el carregament de vagons s'efectua a través dels equips pròpis de les instal·lacions.

- **Terminal de vehicles de Seat**

FGC també dona servei als transports entre la Seat i el Port de Barcelona, mitjançant dues unitats de negoci. Per una banda, l'Autometro, en què es transporten els vehicles que es fabriquen a la planta de Martorell per exportar a l'estranger en vaixell. El Cargo-metro és un servei de peces de recanvi i material divers de la mateixa companyia. Si bé és FGC qui realitza el servei, en aquest cas les circulacions són per via ample d'Adif amb locomotores diferents

6.2. Avaluació dels criteris de viabilitat a la línia Madrid - Barcelona

La següent avaluació dels criteris definits a l'estudi general del treball determinaran la viabilitat de l'ús del transport de mercaderies a la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona.

6.2.1. Determinació de la operabilitat tècnica

Per determinar la viabilitat de la operabilitat tècnica de la línia d'alta velocitat Madrid-Barcelona s'avaluen els següents criteris:

C1) Avaluació de l'entrevia mínim

Criteri	Requeriment	Valor línia	Supera
Entrevia mínima	≥ 4,5 m	4,7 m	Si

C2) Avaluació de les rampes màximes

Es determina la càrrega màxima a cada tram de la línia considerant els gradients en les longituds de rampa més restrictives per diferents condicions de circulació.

Taula 52. Aplicació dels criteris de rampa als diferents trams de la LAV.

Tram	Gradients més restrictius del tram	Condicions tren	Càrrega màx. tren
MADRID - GUADALAJARA	25‰ en 1 km 24,4‰ en 5 km 23,3‰ en 6 km	100 km/h	1 loc. 600 t
			2 loc. 1400 t
		120 km/h	1 loc. no (< 600 t)
			2 loc. 1200 t
GUADALAJARA - CALATAYUD	25‰ en 1 km 23‰ en 2 km 22‰ en 3 km 19,3‰ en 4 km 17,6‰ en 5 km 16‰ en 6 km	100 km/h	1 loc. 600 t
			2 loc. 1600 t
		120 km/h	1 loc. 600 t
			2 loc. 1400 t
CALATAYUD - SARAGOSSA	25‰ en 1 km 15‰ en 2 km 12,7‰ en 3 km	100 km/h	1 loc. 1200 t
			2 loc. >1600 t
		120 km/h	1 loc. 1000 t
			2 loc. 1600 t
SARAGOSSA - LLEIDA	25‰ en 1 km 21,5‰ en 2 km 18,6‰ en 5 km 17,2‰ en 6 km 16,1‰ en 7 km 14‰ en 8 km	100 km/h	1 loc. 600 t
			2 loc. 1600 t
		120 km/h	1 loc. 600 t
			2 loc. 1400 t

<i>Tram</i>	<i>Gradients més restrictius del tram</i>	<i>Condicions tren</i>		<i>Càrrega màx. tren</i>
LLEIDA - TARRAGONA	25‰ en 2 km 22,7‰ en 3 km 22‰ en 5 km 20‰ en 6 km 18,1‰ en 10 km	100 km/h	1 loc.	600 t
			2 loc.	1600 t
		120 km/h	1 loc.	600 t
			2 loc.	1200 t
TARRAGONA - BARCELONA	25‰ en 1 km* 17‰ en 2 km 13,5‰ en 6 km	100 km/h	1 loc.	800 t
			2 loc.	1600 t
		120 km/h	1 loc.	800 t
			2 loc.	1600 t

C3) Avaluació de la capacitat mínima

Per determinar la capacitat mínima de la línia d'alta velocitat Madrid-Barcelona seria necessari calcular el consum de capacitat pels diferents serveis de viatges mitjançant el mètode UIC vist anteriorment. Això no obstant, no es disposen de les dades necessàries per a realitzar aquest càlcul, doncs es precisaria del temps de pas als diferents punts de bloqueig de la línia per poder assolir valor fidedignes amb la capacitat real, ja que amb les dades existents el càlcul dels temps d'ocupació no serien correctes. És per això que la determinació de la capacitat en aquest estudi particular es realitzarà de forma qualitativa a partir dels diagrames d'ocupació. De la observació d'aquests diagrames es conclou que la línia es troba molt per sota dels valors límits que recomana la UIC. En hores punta s'obtenen valors propers al màxim, però a la resta de franges horàries la ocupació està molt per sota del 50%.

C4) Avaluació de les connexions mínimes entre estacions

La línia no disposa de connexions entre les estacions de mercaderies descrites al punt 6.1.2. No supera el criteri.

6.2.2. Determinació de l'afectació sobre el manteniment

S'avalua el criteri del deteriorament de la línia.

C5) Avaluació del deteriorament de la línia

L'augment del manteniment de la línia a causa dels nous tràfics es podria aproximar en un 20%.

6.2.3. Caracterització de l'explotació

S'avaluen els criteris de la qualitat del transport i els paràmetres de disseny del material rodant.

C6) Avaluació de la qualitat mínima del transport

Per concretar la qualitat del transport, depenent essencialment de la infraestructura i els trams per on es pretén circular, serà necessari suposar una sèrie de serveis, com es farà al capítol següent.

C7) Avaluació dels paràmetres de disseny mínims

Tot i la opció d'adaptar noves locomotores, els transport per la línia d'alta velocitat que aquí es planteja s'efectuaria amb la locomotora S252 de Renfe adaptada al transport de mercaderies en ample UIC. Les especificacions de la locomotora 252 indiquen la càrrega remolcable màxima en diferents condicions de rampa.

Taula 53. Càrrega remolcable màxima per la locomotora S252 [10].

Rampa	Càrrega remolcable màxima en l'arrencada
0 ‰	5670 t
10 ‰	1870 t
20 ‰	1090 t
30 ‰	750 t

S'observa que pel cas d'una locomotora i rampes de 25‰ s'assegura l'arrencada del tren de 800t, que és la càrrega remolcable més elevada per condicions de rampa.

A més a més les S252 de mercaderies disposen del sistema de seguretat ERTMS nivell 1, i de pantògraf per la captació de tensió a 25Kv 50 Hz.

Aquests paràmetres asseguren el compliment de tots els criteris requerits als paràmetres de disseny mínims.

6.3. Alternatives de viabilitat

En aquest capítol es descriuen les actuacions sobre la línia Madrid - Barcelona que serien necessàries per fer viable el transport de mercaderies.

6.3.1. Escenaris possibles

La concreció dels escenaris la formen els possibles itineraris entre terminals, la demanda dels serveis a circular per la línia i els tipus de trens operants.

6.3.1.1. Itineraris (transports de mercaderies des de les terminals properes a la línia d'alta velocitat)

Les alternatives de viabilitat per l'ús de transport de mercaderies a través de la línia d'alta velocitat Madrid-Barcelona que s'analitzaran corresponen a tres possibles connexions entre terminals espanyoles amb la xarxa europea a través de la frontera francesa. El recorregut suposat serà des de cada una de les tres zones descrites al punt xx (camp de Tarragona, zona de Saragossa, i corredor d'Henares), a més a més de la xarxa mètrica de FGC, fins al nus de Castellbisbal, on s'enllaçarà amb la connexió ja existent fins a la frontera francesa per a trens de mercaderies.

Així doncs queden definides les quatre connexions següents:

- S1) Servei des del corredor d'Henares cap a la xarxa europea
- S2) Servei des de l'àrea de Saragossa cap a la xarxa europea
- S3) Servei des del camp de Tarragona cap a la xarxa europea
- S4) Serveis des de la xarxa mètrica de FGC cap a la xarxa Europea

6.3.1.2. Demanda dels serveis

Per a l'estudi de viabilitat se suposaran diferents situacions d'ocupació de trens de mercaderies en les condicions de tràfic de viatgers actuals. Per això es fixaran quatre tipus de demandes en número de circulacions diàries per a l'ús de la línia d'alta velocitat per a trens de mercaderies.

- D1) *Demanda puntual:* entre 1 i 2 trens diaris.
- D2) *Demanda baixa:* entre 2 i 5 trens diaris.
- D3) *Demanda intermèdia:* entre 5 i 15 trens diaris.
- D4) *Demanda alta:* més de 15 trens al dia.


6.3.1.3. Trens tipus

Per a l'anàlisi de viabilitat de suposaran tres tipus de trens de mercaderies en funció del producte a transportar:

- M1) *Tren de mercaderies de transport de granel:* es realitza mitjançant vagons tremuja. S'utilitza el model de referència UIC Facs, en ser un dels vagons més utilitzats internacionalment.

Taula 54. Característiques tècniques del vagó *Facs* que defineix el tipus transport M1 [65].


Número d'eixos	4
Tara	25 t
Càrrega màxima	65 t
Pes per eix amb la càrrega màxima	22,5 t
Velocitat màxima	100 km/h
Longitud entre topalls	19000 mm
Volum màxim	70 m3
Bogis	Y21



- M2) *Tren de mercaderies de transport de contenidors:* es realitza mitjançant vagons plataforma portacontenidors. S'utilitza el model de referència Sgns, en ser un dels vagons més utilitzats internacionalment.

Taula 55. Característiques tècniques del vagó *Sgns* que defineix el tipus transport M2 [66].


Número d'eixos	4
Tara	19,8 t
Càrrega màxima	70,2 t
Pes per eix màxim	22,5 t
Velocitat màxima	120 km/h
Longitud entre topalls	19740 mm
Bogis	Y25



M3) Tren de mercaderies de transport de vehicles: es realitza mitjançant vagonets plataforma portavehicles articulats de dos pisos. S'utilitza el model de referència Laes, en ser un dels vagonets més utilitzats internacionalment.

Taula 56. Característiques tècniques del vagó *Laes* que defineix el tipus de transport M3 [65].

Número d'eixos	3
Tara	26,5 t
Càrrega màxima	19,5 t
Pes per eix amb la càrrega màxima	15 t
Velocitat màxima	120 km/h
Longitud entre topalls	27000 mm



6.3.2. Requeriments de viabilitat

6.3.2.1. Adaptació de l'ample UIC

6.3.2.1.1. Ample de via UIC de les estacions de mercaderies

El primer requeriment essencial per poder rebre i expedir trens amb origen o destinació a Europa, és disposar de l'ample UIC a les estacions de mercaderies. Hi ha terminals que ja han fet públic els seus plans per fer això possible, com la Terminal Marítima de Zaragoza, el Port de Tarragona, o la terminal minera de Sùria.

6.3.2.1.2. Ample de via UIC

Donat que les estacions no estan connectades directament a la línia d'alta velocitat, es farà necessari crear noves branques d'ample UIC o be adaptar les vies amb tercer carril, com és el cas del Port de Barcelona, per poder fer circular els trens amb aquest ample d'eixos. Les alternatives d'actuació per aconseguir l'ample europeu es descriuen als següents punts descriptius de la connexió amb les estacions.

6.3.2.2. Connexions amb les estacions de mercaderies

6.3.2.2.1. Connexions al corredor de l'Henares

De l'estudi del traçat de la línia d'alta velocitat i la situació de les estacions de mercaderies del corredor d'Henares es conclou que la connexió dels ports secs de Coslada i d'Azuqueca de Henares es troben a una distància que exigiria la construcció de llargues vies d'accés, fet que podria posar en dubte la viabilitat econòmica del transport. Com que no és objecte d'aquest projecte el disseny de la connectivitat de les estacions sinó la proposició d'alternatives per a la creació de serveis de mercaderies a la línia d'alta velocitat, no s'estudiaran aquests dos casos. No obstant, l'estació de Madrid Abroñigal presenta una situació molt favorable per a la connectivitat a la línia. Aquesta terminal es troba molt a prop de l'origen de la línia, just al sud de l'estació de viatgers de Madrid Puerta Atocha.

E1) Enllaç amb Madrid Abroñigal

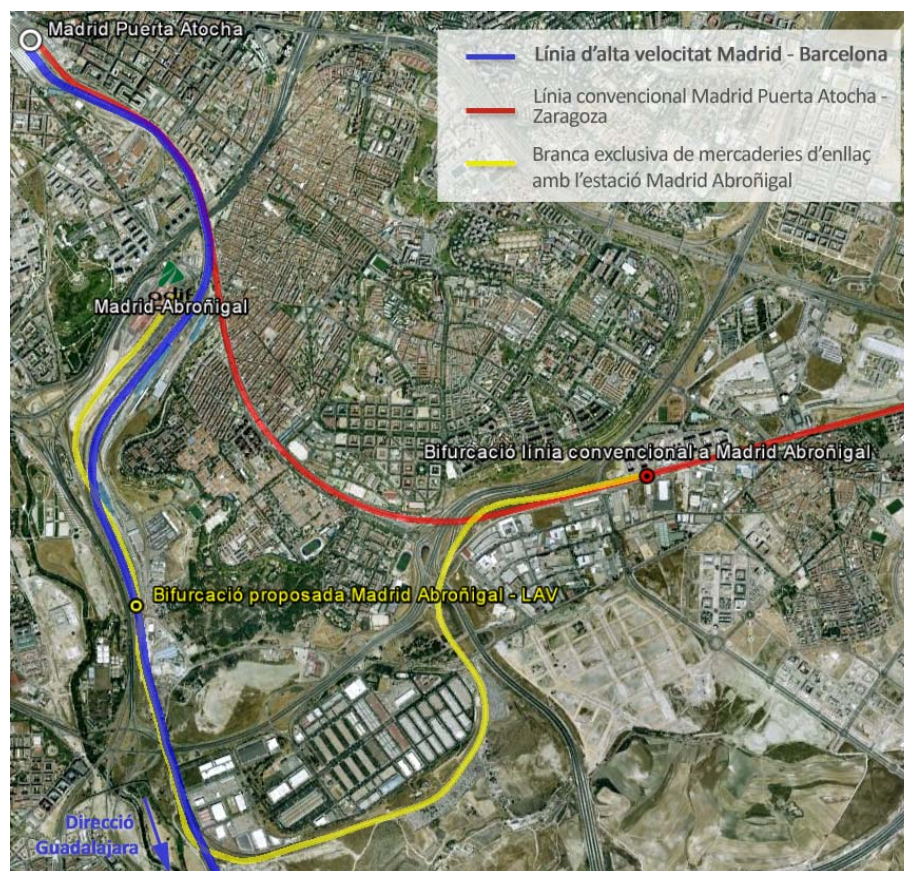


Fig. 48. Bifurcació proposada entre la branca de mercaderies de Madrid Abroñigal i la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona: pk 4.8.

La bifurcació proposada entre la terminal de mercaderies de Madrid Abroñigal i la línia d'alta velocitat es troba just després dels tallers de l'AVE de Madrid Atocha, al pk 4.8, l'única zona que les dues vies es troben a cotes similars. Aquesta connexió exigiria, a més a més de la construcció de la desviació corresponent, l'adaptació a ample UIC d'uns 2 km de la branca exclusiva de mercaderies que uneix la via convencional amb l'estació.

6.3.2.2.2. Connexions a l'àrea de Saragossa

Es presenten dos punts òptims d'enllaç en funció de l'estació que es vulgui connectar a la LAV.

E2) Enllaç amb la terminal logística Zaragoza Plaza

La línia d'alta velocitat passa just al sud d'aquesta terminal, fet pel qual la construcció d'una bifurcació seria relativament fàcil. Com s'observa al mapa, el punt proposat es troba poc just després de la sortida ferroviària de la terminal, i ja en línia d'alta velocitat, al pk 294.8, poc just abans de la bifurcació de Moncasí, d'on se separa la branca cap a l'estació de viatgers de Zaragoza-Delicias del bypass. Això permetria, sota diferents condicions de capacitat, el pas dels trens cap a l'interior de Saragossa o la via directa cap a Lleida pel bypass.



Fig. 49. Bifurcació proposada entre la terminal de Zaragoza Plaza i la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona: pk 294.8.

E3) Enllaç amb la Terminal Marítima de Zaragoza

La TmZ es troba connectada a la línia convencional de Lleida a Saragossa per la banda nord de la terminal, fet que obliga als trens que venen del sud a maniobrar. Actualment té en projecte la connexió també per la banda sud, a més de l'augment de capacitat de les vies que s'ha explicat al punt XX.

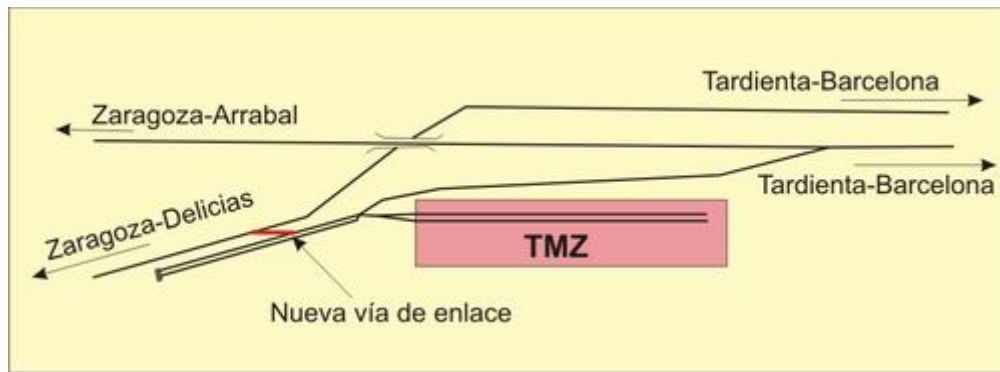


Fig. 50. Projecte del nou accés sud de la línia [62].

La bifurcació proposada a la línia d'alta velocitat aprofitaria aquest futur enllaç amb la línia convencional, ja que tal com es veu al mapa ambdues vies segueixen un traçat paral·lel. Es tractaria doncs d'un enllaç relativament senzill d'efectuar, que implicaria tan sols la conversió a ample internacional les vies principals de la pròpia terminal. Els trens circularien des del pk 7.3 pel tram inicial de la branca d'alta velocitat cap a Huesca (pk 319 des de Madrid), actualment molt poc ocupada, per incorporar-se a la línia principal abans d'arribar a Saragossa. Com que no es disposa de desviament en sentit est, seria necessari maniobrar arribats en aquest punt.

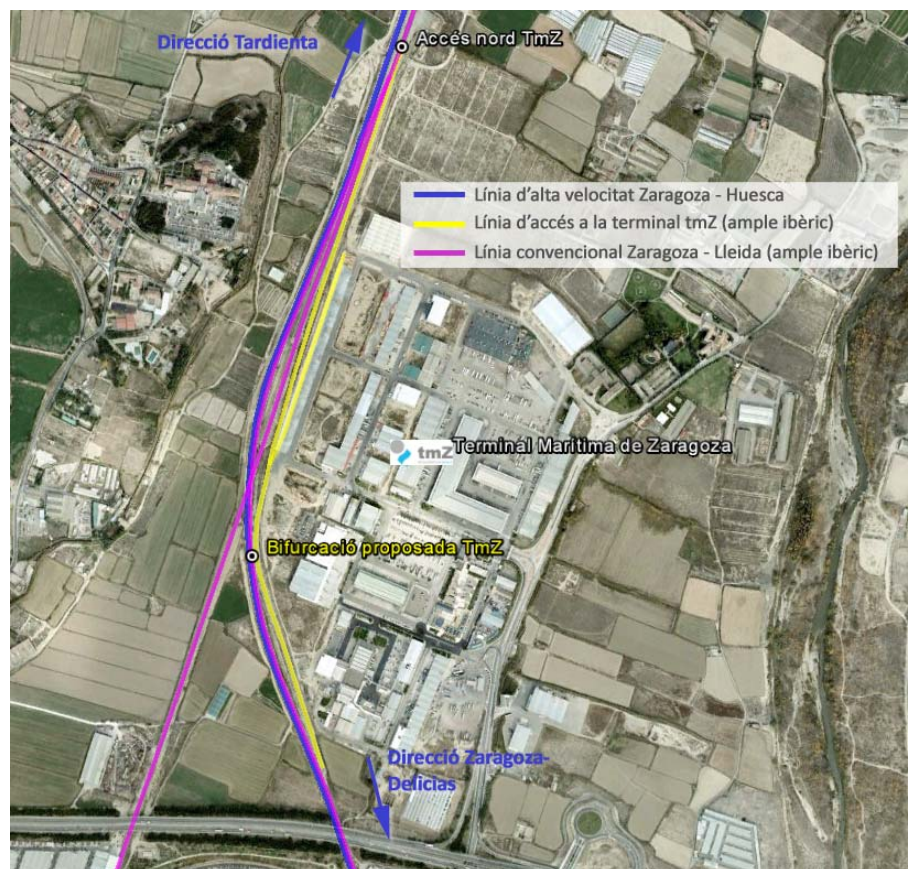


Fig. 51. Bifurcació proposada entre la terminal Marítima de Zaragoza i la branca d'alta velocitat Saragossa Huesca de la línia Madrid - Barcelona: pk 319 (en branca Huesca).

6.3.2.2.3. Connexions al camp de Tarragona

Com s'ha indicat al punt XX, el Port de Tarragona està estudiant la possibilitat de connectar-se a la xarxa europea. Diverses opcions per accelerar aquest accés s'estan debatent actualment. En aquest treball es presenten dues alternatives per fer efectiva aquesta connexió, si ve cap d'elles correspon a les que es debaten actualment. Mentre aquí es buscarà l'enllaç amb la línia d'alta velocitat, les propostes que de moment s'han estudiat passen sempre per arribar fins a Castellbisbal a través de línia convencional i per mitjà de la instal·lació del tercer carril. El debat se centra en com accedir a la via convencional, proposant en un cas la remodelació de l'antiga via Reus-Roda, i per l'altre travessant Tarragona ciutat.

A continuació es plantegen dues variants a aquestes propostes, resultants d'establir una connexió amb la LAV en els punts on els traçats d'ambdues vies siguin prou pròxims.

E4) Enllaç pas per la línia Reus-Roda

La línia Reus-Constantí-Roda de Barà formava part de l'antiga línia de Madrid a Barcelona per Casp. Actualment resta operatiu el tram de Reus fins a la terminal de mercaderies de Constantí, però d'allà cap a l'est està sense servei des del 1992 i en part desmantellada per culpa de les obres de la línia d'alta velocitat i el futur corredor mediterrani. L'accés des de la LAV al canviador d'ample de Roda de Barà utilitza alguns centenars de metres d'aquest tram.



Fig. 52. Intervencions previstes a la línia Reus-Roda [62].

La opció que s'ha estudiat públicament consisteix en reobrir la línia en doble ample per connectar a Roda, a la zona del canviador d'ample, amb la línia de Valls - Sant Vicenç de Calders, fet que permetria als mercants evitar el pas per Tarragona ciutat. mediterrani

Seguint aquesta idea la variant aquí proposada es basa en reduir el tram de remodelació de la Reus-Roda fins el punt on la via troba la LAV, concretament al pk 519.4, molt proper a la futura connexió amb el corredor mediterrani d'alta velocitat. Es faria necessari,

a part de restablir la via i instal·lar-hi el tercer carril des del Port de Tarragona, construir un desviament que permetés la incorporació dels trens a línia d'alta velocitat en servei per poder així tenir accés directe a la xarxa europea transpirenaica.



Fig. 53. Bifurcació proposada per l'enllaç de la línia Reus - Roda amb la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona: pk 519.4.

E5) Enllaç per Tarragona i el Vendrell



Fig. 54. Bifurcació proposada per l'enllaç de les estacions del Camp de Tarragona amb la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona: pk 548.3.

L'alternativa a la remodelació de la Reus-Roda és adequar amb tercer carril la línia convencional que connecta el Port i que creua Tarragona fins Sant Vicenç de Calders. El punt on el traçat s'aproxima a la LAV és poc després del Vendrell, al pk 548.3, on seria necessària la instal·lació d'un desviament. La longitud de línia convencional que caldria adaptar amb tercer carril seria de 36 km.

6.3.2.2.4. Connexions al xarxa mètrica de FGC

L'enllaç entre la xarxa mètrica i la línia d'alta velocitat no és trivial, degut a la forta confluència de vies en un espai molt densament edificat i de orografia complexa. La bifurcació proposada se situa just després de l'estació de Martorell Enllaç, a partir d'on seria necessària la construcció d'una via d'accés d'uns 400 m, per arribar a la LAV just després de la sortida est del túnel de Martorell.

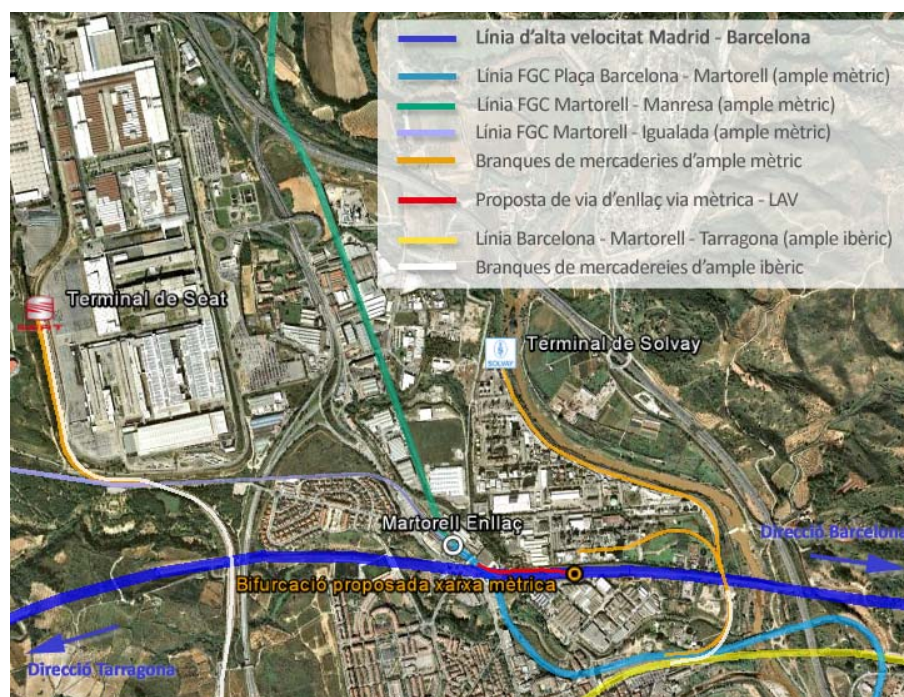


Fig. 55. Bifurcació proposada per l'enllaç de les estacions del Camp de Tarragona amb la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona: pk 588.7.

Com s'observa, la zona edificada permet l'espai just per a la construcció d'aquesta via d'accés:

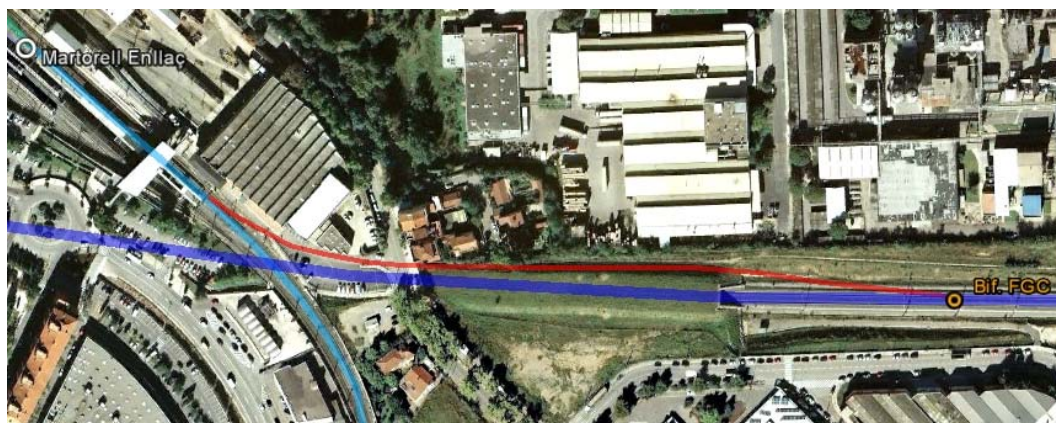


Fig. 56. Branca d'enllaç proposada per l'accés de la xarxa mètrica amb la línia d'alta velocitat.

6.3.2.3. Connexió a la xarxa europea

Per tal de transmetre els trens de mercaderies cap a la xarxa europea és necessari que es disposi de una bifurcació des de la línia d'alta velocitat cap al tram de tercer carril que enllaça amb la part ja acabada de la LAV fins a Figueres. Aquesta connexió s'hauria de realitzar mitjançant dos desviaments (un per cada sentit) en algun dels punts que la LAV passa paral·lela a la línia Barcelona - Martorell - Sant Vicenç de Calders. Com s'ha explicat, entre Castellbisbal i el Papiol finalitza el ramal exclusiu de mercaderies que va fins al Port de Barcelona, equipat amb vies de tres carrils. El ramal finalitza als punts de desviació de la línia convencional cap de Rubí a Mollet, per on circulen els trens dirigits a la frontera des del Port, totalment equipada amb tercer carril. Com que els trànsits en ample internacional només són possibles cap al Port de Barcelona a través del ramal exclusiu, de les quatre bifurcacions de la via convencional entre la línia de Mollet i la de Martorell, només la Sud està equipada amb tercer carril. Això significa que per transmetre els trens en direcció nord cap a la LAV, o bé s'instal·la el tercer carril a una de les dues bifurcacions en aquest sentit, o bé els trens estarien obligats a maniobrar per aconseguir aquesta connexió. L'equipació de tercer carril és una solució que arribarà a mig termini gràcies a les futures connexions del corredor mediterrani.

Com que no és objectiu d'aquest treball determinar la òptima col·locació d'aquests desviaments ni de la solució emprada per garantir la connexió entre línia d'alta velocitat i via de tercer carril al nus de Castellbisbal, se suposa un punt quilomètric 594.9.

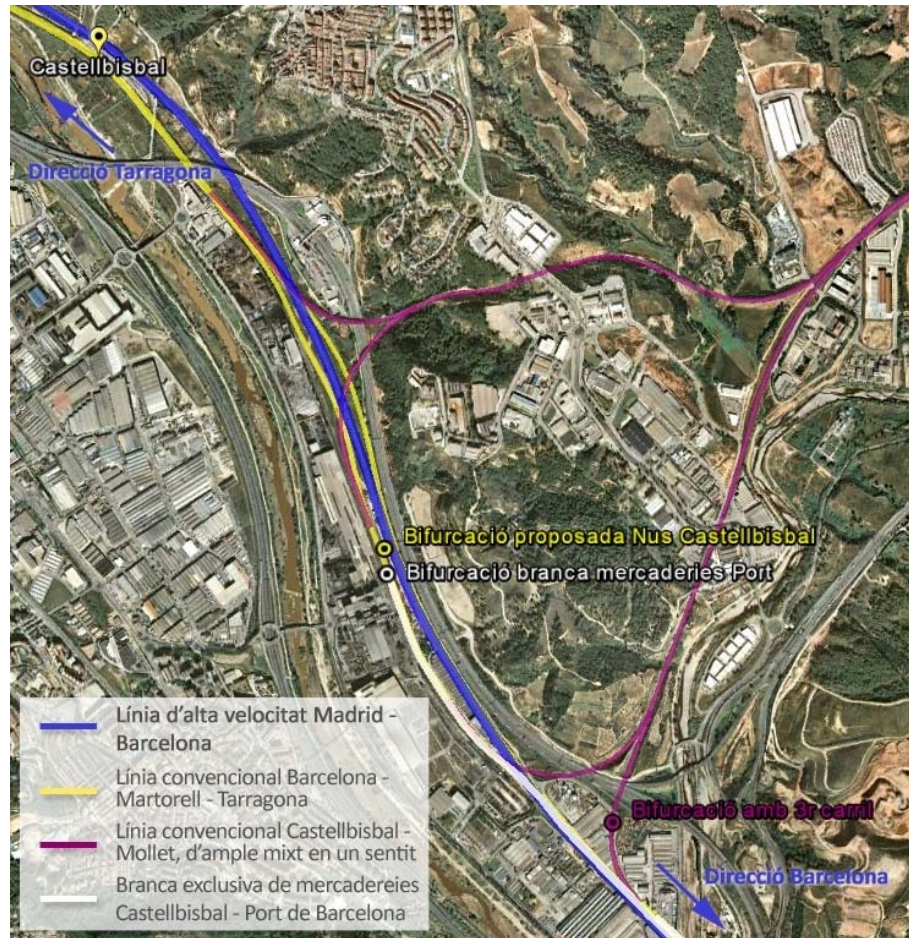


Fig. 57. Bifurcació proposada al nus de Castellbisbal per la connexió de la línia d'alta velocitat amb la branca exclusiva de mercaderies del Port de Barcelona: pk 594.9.

6.3.3. Caracterització dels serveis

Per determinar la viabilitat dels serveis proposats cal analitzar l'existència de capacitat als trams de la línia que s'ocuparan en cada cas. Per això se suposarà un factor de la velocitat mitjana de circulació igual al 75%.

$$\bar{v} = 0,75v_{m\grave{a}x}$$

Aquest factor descriu les variacions de velocitat degudes a l'arrencada i frenada del tren, el pas per corba i per rampa, o qualsevol altre factor que pugui fer reduir la velocitat màxima del tren. El factor però no representa la velocitat mitjana de viatge, ja que no inclou els temps d'aturada per apartament del tren. És doncs una suposició per determinar el règim en moviment.

La numeració dels trens respon al criteri de sigles "SME.n", on *S* és el servei, *M* el tipus de transport, *E* l'enllaç i *n* el número de tren diari.

6.3.3.1. Serveis S1

Els tipus de trens pel servei de transport S1 entre Madrid Abroñigal (E1) i la xarxa europea no poden ser ni de tipus M1 (granel), ni M3 (vehicles), degut a les característiques de l'estació. És per això que es definirà el servei S1 pel tipus de transport M2 (contenidors), formant els trens "121". Recuperant els criteris avaluats per la càrrega màxima, i considerant la circulació per la totalitat dels trams s'obté:

Taula 57. Característiques del servei S1

Numeració tren 121	
Distància total	590,1 km
Velocitat màxima (M2)	120 km/h
Coefficient d'ajustament	0,75
Velocitat mitjana	90 km/h
Temps viatge directe (h)	6,6 h
Temps viatge (min)	393,4 min
Càrrega màxima 1 loc.	< 600 t
Càrrega màxima 2 loc.	1200 t
Nº vagons 1 loc.	6
Nº vagons 2 loc.	13

Tenint en compte la capacitat disponible però, no seria possible establir trens directes. El disseny d'horaris pels possibles trens diürns a circular es pot consultar a l'annex 3.1. Els temps de viatge han resultat els següents:

Taula 58. Comparativa dels temps de viatge dels diferents serveis 121 proposats.

Numeració tren	121.1	121.2	121.3	121.4	121.5	121.6
Temps viatge (min)	586,4	590,4	478,4	548,4	548,4	637,4
Temps viatge (h)	9,8	9,8	8,0	9,1	9,1	10,6
Diferència respecte el directe (min)	193,0	197,0	85,0	155,0	155,0	244,0
Diferència respecte el directe (h)	3,2	3,3	1,4	2,6	2,6	4,1
% temps aturat	49,1	50,1	21,6	39,4	39,4	62,0

6.3.3.2. Serveis S2

Els serveis S2 es poden definir des de la terminal Zaragoza Plaza (enllaç E2) o des de la terminal de Marítima de Zaragoza (enllaç E3). Cap de les dues estacions admet tràfic de granel o vehicles, és per això que només es plantejaran transports de contenidors M2.

Taula 59. Característiques dels servei S2

Numeració tren	222	223
Distància total	300,1	283,2
Velocitat màxima (M2)	120,0	120,0
Coeficient d'ajustament	0,8	0,8
Velocitat mitjana	90,0	90,0
Temps viatge directe (h)	3,3	3,1
Temps viatge (min)	200,1	188,8
Càrrega màxima 1 loc.	600,0	600,0
Càrrega màxima 2 loc.	1200,0	1200,0
Nº vagons 1 loc.	6,0	6,0
Nº vagons 2 loc.	13,0	13,0

De l'estudi de capacitat s'han obtingut els possibles serveis a inserir a la línia (consultar l'annex 3.2). Pel que fa als serveis des de l'estació Zaragoza Plaza:

Taula 60. Comparativa dels temps de viatge dels diferents serveis 222 proposats.

Numeració tren	222.1	222.2	222.3	222.4	222.5	222.6	222.7	222.8	222.9
Temps viatge (min)	350,1	345,1	270,1	275,1	260,1	222,1	262,1	300,1	350,1
Temps viatge (h)	5,8	5,8	4,5	4,6	4,3	3,7	4,4	5,0	5,8
Dif. amb directe (min)	150,0	145,0	70,0	75,0	60,0	22,0	62,0	100,0	150,0
Dif. amb el directe (h)	2,5	2,4	1,2	1,3	1,0	0,4	1,0	1,7	2,5
% temps aturat	75,0	72,5	35,0	37,5	30,0	11,0	31,0	50,0	75,0

Pel que fa als serveis des de l'estació TmZ:

Taula 61. Comparativa dels temps de viatge dels diferents serveis 223 proposats.

Numeració tren	223.1	223.2	223.3	223.4	223.5	223.6	223.7	223.8	223.9
Temps viatge (min)	328,8	333,8	258,8	265,8	248,8	210,8	250,8	283,8	338,8
Temps viatge (h)	5,5	5,6	4,3	4,4	4,1	3,5	4,2	4,7	5,6
Dif. amb directe (min)	140,0	145,0	70,0	77,0	60,0	22,0	62,0	95,0	150,0
Dif. amb el directe (h)	2,3	2,4	1,2	1,3	1,0	0,4	1,0	1,6	2,5
% temps aturat	74,2	76,8	37,1	40,8	31,8	11,7	32,8	50,3	79,4

6.3.3.3. Serveis S3

Els serveis S3 es poden definir des de la bifurcació de la línia Reus-Roda o la bifurcació del Vendrell. Les estacions a qui donen servei són el Port de Tarragona, Tarragona Mercaderies i la terminal intermodal de Constantí. Si bé la mercaderia preferent que es

transporta internacionalment en aquestes estacions són contenidors M2, també esdevenen possibles serveis de granel M1 vehicles (ambdós des del Port). Les característiques a considerar aquí corresponen al tram Tarragona - Barcelona, fet que com s'ha vist és menys restrictiu en les càrregues màximes:

Taula 62. Característiques dels serveis S3.

	M1		M2		M3	
Numeració tren	314	315	324	325	334	335
Distància total	75,5	46,6	75,5	46,6	75,5	46,6
Velocitat màxima	100,0	100,0	120,0	120,0	120,0	120,0
Coeficient d'ajustament	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Velocitat mitjana	75,0	75,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Temps viatge directe (h)	1,0	0,6	0,8	0,5	0,8	0,5
Temps viatge (min)	60,4	37,3	50,3	31,1	50,3	31,1
Càrrega màxima 1 loc.	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0	800,0
Càrrega màxima 2 loc.	1600,0	1600,0	1600,0	1600,0	1600,0	1600,0
Nº vagons 1 loc.	6,0	10,0	6,0	6,0	10,0	10,0
Nº vagons 2 loc.	17,0	26,0	17,0	17,0	26,0	26,0

Pel que fa a l'enllaç amb la Reus Roda, de l'estudi de capacitat (consultar l'annex 3.3) s'observa que tots els trens poden circular sense necessitat d'apartament, és a dir els temps de viatge són per tots ells iguals als anteriorment calculats. A causa de la diversa velocitat del material rodant remolcat el número màxim de trens difereix en 13 pels tipus tremuja M1 a 16 pels tipus contenidor M2 o portavehicles M3.

Evidentment també són tots directes els serveis que es poden establir des del Vendrell. En haver-hi menys distància a ocupar, la capacitat de trens a encabir en aquest enllaç augmenten a 20 pels tremuges i 22 pels contenidors o portavehicles.

6.3.3.4. Serveis S4

Els serveis S4 des de la bifurcació proposada de FGC poden realitzar-se amb els tres tipus de trens, donats els tipus de negoci de mercaderies d'aquest operador. En ser un trajecte molt curt, no es presenten problemes de capacitat. Les característiques de càrrega són les mateixes que pel servei S3.

7. CONSIDERACIONS D'IMPACTE AMBIENTAL

Un dels principals punts a favor de l'ús del transport de mercaderies per ferrocarril enfront del transport per carretera és el seu menor impacte mediambiental. La major eficiència energètica del sistema ferroviari implica disminucions substancials en els nivells d'emissions respecte el sistema viari, fet pel qual el transport d'una mateixa mercaderia a través d'un tren o un camió comporta importants diferències en les respectives emissions de CO₂ que cal valorar.

González Franco (2012) va comparar els consums i emissions de diferents tipus de trens, si estan remolcats per locomotores dièsls o elèctriques. Les emissions de CO₂ es va obtenir a partir de l'energia en barres de la central de generació pel cas elèctric, o en pou de petroli per la tracció dièsel. Per això es van multiplicar els kWh consumits pels grams de CO₂ emesos per kWh a les centrals, a Espanya resulta de 2,33 g/kWh. Pel cas dièsel es va utilitzar el factor d'emissions de 2,67 g de CO₂ per litre, i es van afegir les emissions del procés Well to tank, de 14,58 g/MJ.

Taula 63. Comparació d'emissions en funció del perfil de la línia i el tipus de producte remolcat, per tren de 1200 t de càrrega [8].

Tipus de línia	Vagons remolcats	Emissió CO ₂ (g/t·km)	
		Tracció elèctrica	Tracció dièsel
Perfil suau	Granel	12	27
	Tancat	9	21
	Portavehicles	43	101

Es considera el vagó tancat amb les característiques suficientment equiparables al vagó portacontenidors com per suposar igual les emissions.

Pel que fa a les emissions de camions s'utilitza el valor de referència de 72 g/ tkm [3], per camió de 15 t, que va proposar la IRU (Internationa Road Transportation Union) en un estudi sobre les avantatges del transport combinat.

Amb aquestes dades es pot realitzar l'estimació de l'impacte ambiental dels diferents serveis de mercaderies a la línia d'alta velocitat Madrid- Barcelona proposats al capítol 6 i comparar-lo amb l'equivalent impacte del mateix transport si es realitza per carretera.

Taula 64. Estimació de les emissions de CO₂ (kg) per diferents tipus material i recorregut, per un transport de 600 t.

		Tracció elèctrica			Tracció dièsel			Camió
		M1	M2	M3	M1	M2	M3	
Emissions (g/tkm)		12	9	43	27	21	101	72
Recorregut km								
Madrid - frontera	783	5637,6	4228,2	20201,4	12684,6	9865,8	47449,8	33825,6
Z. Plaza - frontera	493	3549,6	2662,2	12719,4	7986,6	6211,8	29875,8	21297,6
TmZ - frontera	476,1	3427,9	2570,9	12283,4	7712,8	5998,9	28851,7	20567,5
Reus-Roda - frontera	268,4	1932,5	1449,4	6924,7	4348,1	3381,8	16265,0	11594,9
Vendrell - frontera	239,5	1724,4	1293,3	6179,1	3879,9	3017,7	14513,7	10346,4
FGC - frontera	199,1	1433,5	1075,1	5136,8	3225,4	2508,7	12065,5	8601,1

Les diferències d'emissions dels trens respecte l'emissió del camió es mostren a continuació:

Taula 65. Diferències d'emissió pels diferents transports proposats.

	Tracció elèctrica			Tracció dièsel		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Madrid - frontera	-28188,0	-29597,4	-13624,2	-21141,0	-23959,8	13624,2
Z. Plaza - frontera	-17748,0	-18635,4	-8578,2	-13311,0	-15085,8	8578,2
TmZ - frontera	-17139,6	-17996,6	-8284,1	-12854,7	-14568,7	8284,1
Reus-Roda - frontera	-9662,4	-10145,5	-4670,2	-7246,8	-8213,0	4670,2
Vendrell - frontera	-8622,0	-9053,1	-4167,3	-6466,5	-7328,7	4167,3
FGC - frontera	-7167,6	-7526,0	-3464,3	-5375,7	-6092,5	3464,3

Com s'observa, el ferrocarril és clarament menys contaminant que el camió en excepció del cas de transport de portavehicles amb tracció dièsel. Com a observació cal apuntar que el transport del tren de 600 t és equivalent al de 40 camions de 15 t.

8. CONCLUSIONS

En aquest capítol es desenvolupen les conclusions del present estudi.

En primer lloc, cal valorar l'estudi de viabilitat general.

De l'anàlisi de les restriccions s'ha observat que variables de disseny característiques de les línies d'alta velocitat que a priori podrien semblar restrictives al pas dels trens de mercaderies no suposen en realitat cap limitació a aquest tipus d'explotació:

- S'ha constatat que les sobredimensionades característiques de subestructura d'alta velocitat no impedeixen la circulació dels majors pesos per eix del material rodant de mercaderies.
- S'ha comprovat que els majors peralts no posen en risc la integritat de la via sota els efectes de l'esforç lateral dels vehicles mercants, ni fan aparèixer perills de descarrilament.
- S'ha constatat que les característiques d'obra civil d'alta velocitat (pont i viaductes) no impedeixen la circulació dels majors pesos per eix del material rodant de mercaderies.
- S'ha comprovat que els gàlibs dels túnels no suposen cap impediment al pas dels trens de mercaderies convencionals.
- S'ha constatat que la capacitat energètica de la línia és suficient per admetre nous consums de trens de mercaderies.
- S'ha comprovat que els ordres de magnitud de les sol·licitacions verticals del material de mercaderies sobre els carrils d'alta velocitat (i per tant, de bona qualitat geomètrica), són equiparables a les exercides per material més ràpid d'alta velocitat.

Paral·lelament, s'han determinat les restriccions que poden afectar a la viabilitat del sistema. També en aquest cas han aparegut restriccions que a priori no ho semblaven.

- S'ha constatat que l'ample de via és un requeriment indispensable.
- S'ha plantejat la possible afectació de l'encreuament de trens d'alta velocitat amb els de mercaderies.

- S'ha demostrat la restrictiva limitació de les majors rampes del traçat d'una línia d'alta velocitat en les càrregues a transportar pel tren de mercaderies i les reduccions de velocitat per falta de potència tractora en l'ascens de rampa.
- S'ha constatat que és requisit indispensable per a la captació energètica les locomotores elèctriques de la xarxa d'alta velocitat, l'adaptació dels sistemes de tracció.
- S'ha constatat que per poder comandar el tren i assegurar les circulacions segures les locomotores de mercaderies han de posseir els sistemes de control compatibles amb els de la línia.
- S'ha comprovat que es fa necessària l'existència de capacitat suficient a la línia per poder fer-hi circular trens de mercaderies, i que per evitar-ne la interferència amb els trens de viatgers són necessàries les estacions.
- S'ha mostrat com la inserció d'un tren en una línia explotada comercialment comporta la forta disminució de la capacitat de la línia.
- S'ha constatat que és imprescindible la connectivitat entre la línia d'alta velocitat i les vies d'accés a les terminals de mercaderies.

A través dels punts enumerats fins aquí queda justificat el mètode emprat per a la obtenció dels criteris de viabilitat, els quals no eren trivials. Aquestes darreres restriccions són les que s'han utilitzat per formular els criteris de viabilitat, els quals permeten avaluar la possible utilització d'una línia alta velocitat pel transport de mercaderies.

De la observació dels criteris es fa evident que si bé la circulació de trens de mercaderies està sotmesa a molts condicionants, no apareixen impediments tècnics generals que en puguin fer inviable el pas sense haver de procedir a l'estudi de cada cas en particular.

Restriccions que inicialment podrien semblar insuperables com l'afectació sobre el manteniment i el deteriorament de les línies s'ha vist en aquest estudi que són menys importants per la determinació de la viabilitat tècnica que altres criteris com la capacitat o les rampes del traçat. Un deteriorament de la via pot ser compensat amb un augment de la despesa en manteniment, que sempre es mou en uns termes raonables. Els criteris més restrictius que es presenten són doncs:

- Les vies d'enllaç a la LAV, que poden impedir els accessos dels trens de mercaderies des de les estacions
- Les longituds i valors de rampa, que poden limitar especialment les càrregues màximes a transportar.
- La capacitat existent, que pot comportar dificultats d'intercalació de trens de mercaderies i pot limitar seriosament les velocitats mitjanes per causa de l'excessiu apartat dels trens.

El primer punt pot fer imprescindible la construcció de bifurcacions o línies d'accés entre les estacions de mercaderies i la línia. Així mateix els dos últims punts són essencialment condicionants de la qualitat del transport, caracteritzada per la càrrega total que pot transportar una composició en una certa velocitat comercial. Una rampa acusada i mantinguda en uns quants quilòmetres pot provocar dràstiques reduccions en les càrregues remolcables, i una via amb un número de serveis comercials operant propers al seu punt de congestió faran gairebé impossible la inserció de nous horaris pels mercants, o be comportaran temps de viatge massa llargs per l'excés del temps que els trens hauran de restar parats en els punts d'avançament cedint el pas als ràpids vehicles de viatgers.

Es conclou doncs que els criteris tècnics plantejats serveixen per analitzar les formes de transport de mercaderies que podrien operar una línia d'alta velocitat, i sota quines premisses d'actuació sobre el material i la infraestructura. Els criteris però, no descriuen quins dels transports plantejats serien eficients o rendibles econòmicament, no tenen aquesta finalitat. Això no obstant, i havent avaluat els criteris en referència a la qualitat del transport, es poden llegir també els resultats com una orientació en aquest aspecte. Així, locomotores que per causa de les rampes del traçat no poguessin arribar a remolcar 600 t comportarien serveis de mercaderies poc competitius, per comparació amb les potències dels materials utilitzats, capaços de traccionar més del doble d'aquest valor en condicions de traçats normals. Pel que fa a les velocitats, no semblaria lògic tampoc que en circular per una línia d'elevades prestacions els resultats de velocitat mitjana dels trens fossin inferiors als valors del viatge en línia convencional. En cas que tan la càrrega com la velocitat puguin assolir valors raonables, i les inversions a efectuar per la connexió de la infraestructura, en cas de no disposar-ne, no siguin elevades, la solució de utilitzar una línia d'alta velocitat per al transport de mercaderies esdevé viable.

En segon lloc, cal valorar l'estudi de viabilitat particular.

L'avaluació dels criteris de viabilitat en a la línia d'alta velocitat Madrid - Barcelona ha comportat les següents observacions:

- Es disposa de capacitat per acceptar nous serveis a la línia.
- El traçat restringeix considerablement les càrregues màximes a transportar.
- No es disposa de vies d'enllaç a les estacions de mercaderies.
- Les estacions de mercaderies no disposen d'ample UIC.
- Les longituds dels trens es veuen limitades pels PAET, de 400 m.

Aquests resultats indiquen que sota les condicions actuals l'ús de la línia d'alta velocitat Madrid- Barcelona pel transport de mercaderies no és viable.

Com s'ha formulat a l'estudi general, caldria plantejar l'anàlisi dels serveis concrets per arribar a una conclusió sobre la qualitat del servei que podria operar en aquesta línia, amb les actuacions sobre la infraestructura necessàries en cada cas.

Per això s'han proposat diverses alternatives a la creació de transports en funció de la proximitat de les principals estacions de mercaderies a la línia. S'han dividit en quatre zones geogràfiques, i s'han mostrat possibles punts d'actuació per aconseguir la bifurcació amb les estacions. Així s'han configurat diferents serveis que podrien operar a la línia. Utilitzant els criteris de rampes i l'anàlisi de capacitat de la línia, s'ha pogut determinar la qualitat del transport per cadascun dels serveis proposats. D'una primera observació dels resultats obtinguts es pot afirmar el següent:

- Pel que fa als temps de viatge, varien molt en funció del servei i l'horari proposat, i l'anàlisi s'ha d'efectuar per cadascun d'ells.
- Pel que fa a les càrregues màximes a transportar, varien en funció del tram escollit, essent més restrictius els transports de Madrid i Saragossa a causa de les exigents rampes.

A continuació es mostren les conclusions que es poden obtenir de l'anàlisi de cadascun dels serveis inserits al diagrama d'ocupació de la línia:

- Pel transport proposat entre l'estació de mercaderies de Madrid-Abroñigal i la xarxa Europea s'observa que podrien establir-se, en servei simultani amb el transport de viatgers d'alta velocitat, i sense comprometre la seguretat ni implicar-ne el règim d'explotació, un màxim de 5 trens diaris. D'aquests cinc serveis proposats però, no tots presenten la mateixa velocitat comercial. Cal subratllar que només un dels cinc serveis presenta un temps d'aturada del comboi inferior al 25% del total del temps de viatge. Dels altres trens, dos assoleixen el 40% de temps aturats, dos més el 50% i l'últim un 62%. Això implica que en qualsevol cas, per aquest servei el tren haurà de restar aturat una bona part del seu recorregut deixant pas als trens ràpids, reduint així la competitivitat respecte els possibles serveis per línia convencional amb transbordament a la frontera.
- Un anàlisi anàleg es pot establir a l'estació de Zaragoza Plaza, des d'on podrien fer-se circular un total de 9 composicions fins a Castellbisbal. En aquest cas hi ha més variabilitat de temps d'aturada, aconseguint en un cas el valor de l'11% respecte el total, fet que es podria considerar força competitiu considerant la llarga distància que separa els dos punts, i especialment per la reducció que comporta el traçat que segueix la línia d'alta velocitat des de Saragossa fins a Lleida. La resta de serveis es troben en tres grups de temps d'aturada, de 35%, 50% i 75%, sent aquests casos menys clara la possible competitivitat.
- Pel que fa als serveis proposats entre la Terminal Marítima de Zaragoza, l'anàlisi és idèntic a l'anterior.

- El número de transports a l'àrea de Tarragona augmenta considerablement. En el cas del transport de granel des de la bifurcació de la línia Reus-Roda, s'observa que la demanda que es podria cobrir seria força elevada, d'un màxim de 13 composicions diàries. Els transport de contenidors o vehicles, en ser més ràpid, permetrien augmentar aquesta xifra fins les 16. Cal subratllar que la totalitat dels serveis proposats des d'aquí presenten l'avantatge de no precisar l'apartat en cap dels punts del trajecte, fet que n'optimitza la velocitat comercial i en conseqüència la qualitat del transport. Aquest fet serà ja una constant per les bifurcacions més properes al destí.
- Els serveis proposats des del Vendrell presenten valors molt elevats de capacitat, ja sigui per transports de granel en 20 composicions, com de contenidors o vehicles, en 22 composicions.
- Pels serveis des de la bifurcació de la xarxa mètrica, en ser tan pròxima a Castellbisbal, no es presenten restriccions de capacitat.

Aquest anàlisi porta a les següents conclusions finals:

- El transport proposat des de la terminal de Madrid pot resultar interessant en aquells casos que la demanda sigui puntual. Per cobrir majors demandes, l'elevada distància a recórrer a la línia d'alta velocitat, explotada amb trens de viatgers de velocitats relativament heterogènies, comporta en la majoria de itineraris proposats, temps excessivament alts de inoperativitat per causa de l'apartament per cedir el pas. La càrrega màxima dels trens en aquest cas també podria suposar un factor en contra al possible interès de les operadores, donat que per l'estricta traçat de la línia en els trams fins a Tarragona fa pràcticament imprescindible l'ús de la doble composició de locomotores.
- Els transports proposat des de les terminals de Saragossa (Zaragoza Plaza i TmZ), si be presenten majors solcs per a ser aprofitats, només en un d'ells el temps d'inoperativitat és poc rellevant, fet que porta a afirmar que també des d'aquesta àrea geogràfica es poden cobrir demandes puntuals competitives.
- Els transports des de l'àrea Tarragona, en ser una zona pròxima al destí fixat, no queden tan restringits per la capacitat. També juga a favor la càrrega màxima, esdevenint aquí competitiu els trens remolcats amb una sola locomotora. En general es podrien cobrir altes demandes.
- Els transports des de la xarxa mètrica poden cobrir altes demandes amb gran flexibilitat horària.

En conclusió, les alternatives per explotar la línia d'alta velocitat Madrid- Barcelona amb trens de mercaderies podrien ser viables en cas de seguir els criteris anteriorment expo-

sats, i sempre i quan s'establissin els enllaços necessaris entre la línia i les estacions on es pretengués efectuar el transport. Els serveis oferirien unes qualitats suficients per mostrar-se avantatjosos en competitivitat respecte el transport internacional per la via convencional, obligat a transbordar a la frontera, i en definitiva, aconseguirien plantejar una seriosa alternativa al dominant transport per carretera.

9. BIBLIOGRAFIA

Monografies

- [1] **LÓPEZ PITA, ANDRÉS.** *Alta velocidad en el ferrocarril*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2010 (Temes de Transport i Territori; 17).
- [2] **LÓPEZ PITA, ANDRÉS.** *Infraestructuras ferroviarias*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2006 (Temes de Transport i Territori; 12; Curso de ferrocarriles; 1).
- [3] **LÓPEZ PITA, ANDRÉS.** *Explotación de líneas de ferrocarril*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2008 (Temes de Transport i Territori; 15; Curso de ferrocarriles; 2).
- [4] **BACHILLER SAÑA, ADRINA.** *Las rampasmáximas en líneas de alta velocidad*. Barcelona: Edicions UPC, 2002 (Temes de Transport i Territori).
- [5] **GARCÍA ÁLVAREZ, ALBERTO.** *Dinámica de los trenes en alta velocidad*. 6a edició. Fundación de los ferrocarriles Españoles, 2010. (Documentos de Explotación-técnica y económica de ferrocarriles).
- [6] **CENIT (CENTRO DE INNOVACIÓN DEL TRANSPORTE).** *Estudio del comportamiento a medio y largo plazo de las estructuras ferroviarias de balasto y placa*. Barcelona, 2008.
- [7] **FONSECA TEIXEIRA, PAULO.** *Contribución a la reducción de los costes de mantenimiento de vías de alta velocidad mediante la optimización de su rigidez vertical*. Barcelona: Noviembre 2003.
- [8] **GONZÁLEZ FRANCO, I; GARCÍA ÁLVAREZ, A.** *Estimación del consumo de energía y emisiones de CO2 en trenes de mercancías y análisis de su variabilidad*. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles, 2011.
- [9] **MARTÍN CAÑIZARES, M^a PILAR [et al.].** *Herramienta para el dimensionamiento de la red para el tráfico de mercancías*. Fundación de los Ferrocarriles Españoles i Adif.
- [10] **MIQUEL SOLÉ, JOSEP.** *Renfe 252: la tracción eléctrica*. Barcelona: Reserva Anticipada Ediciones, 2004.

Informes i ponències

- [11] **ADIF.** *Puesta en servicio del primer corredor transfronterizo de mercancías en ancho internacional entre España y Francia.* Barcelona: ADIF, 2010.
- [12] **MINISTERIO DE FOMENTO.** *Plan estratégico para el impulso del transporte ferroviario de mercancías en España.* Ministerio de fomento, 2010.
- [13] **OFE.** *Observatorio del Ferrocarril en España: informe 2010.* Ministerio de Fomento, 2011.
- [14] **ADIF.** *Declaración sobre la red 2012. Actualización.* Dirección general de explotación de la infraestructura, 2012.
- [15] **INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS.** *High Speed Rail: fast track to sustainable mobility.* Paris: UIC, 2010.
- [16] **INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS.** *Global Perspectives for ERTMS, ETCS and GSM-R: Report for the ERTMS AnnualConference.* Berna: UIC, 2007.
- [17] **TP-FERRO.** *Declaración de Red TP Ferro 2012.* Barcelona: TP Ferro, 2012.

Publicacions periòdiques

- [18] **VIA LIBRE** [Fundación de los Ferrocarriles Españoles] Número 559 (Gener 2012) (mensual)
- [19] **VIA LIBRE** [Fundación de los Ferrocarriles Españoles] Número especial 20 años de alta velocidad (Abril 2012) (mensual)
- [20] **RAIL TECHINCALREVIEW** [EurorailPress]. Special Reprint 2/05 for German Railways (2005) (mensual)

Articles a revistes

- [21] **JIMÉNEZ, MIGUEL.** «Barcelona: el primer puerto español con ancho internacional.» *Via Libre*, Setembre 2010: 16-22.
- [22] **JIMÉNEZ, MIGUEL.** «Corredor del Henares, la mayor densidad de logística ferroviaria de España» *Via Libre*, Febrer 2010: 15-19.
- [23] **JIMÉNEZ, MIGUEL.** «Zaragoza Plaza, la estación intermodal más moderna y grande de España» *Via Libre*, Març 2009: 13-19.

- [24] **HERNÁNDEZ VELILLA, AGUSTÍN.** «Las catenarias de alta velocidad.» Anales de mecánica y electricidad, Gener-febrer 2007: 24-28.

Lleis, directives, normatives i especificacions

- [25] **DIRECTIVA 96/48/EC APPENDIX 1.** <<http://www.uic.org/spip.php?article971>>
- [26] **INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS.** "Capacity". Codi 406. Paris: UIC, 2004.
- [27] **INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS.** "Classification of lines for the purpose of track maintenance". Codi 714. Paris: UIC, 2009.
- [28] **COMISSIÓ DE LES COMUNITATS EUROPEES** «Especificación técnica de interoperabilidad referente al subsistema material rodante-vagones de mercancías del sistema ferroviario transeuropeo convencional» CCE, 2006.
- [29] **COMISSIÓ DE LES COMUNITATS EUROPEES** «Especificación técnica de interoperabilidad referente al subsistema infraestructura del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad» CCE, 2002.

Projectes de fi de carrera

- [30] **RUANO GÓMEZ, ARANTZAZU.** "Las líneas de Alta velocidad frente a las convencionales, Adaptación de las líneas convencionales a Velocidad Alta" Barcelona: UPC. Enginyeria de Camins, Canals i Ports. 2007.
- [31] **DE NÁJERA VALERA, VÍCTOR.** "Modelos elasto-plásticos para el diseño de plataformas ferroviarias". Barcelona: UPC. Enginyeria de Camins, Canals i Ports. 2007.
- [32] **GRAÑÓN CUERVO, NÉSTOR.** "Tendencias en el diseño de líneas de alta velocidad". Barcelona: UPC. Enginyeria de Camins, Canals i Ports. 2003.
- [33] **GIMENTO ARIBAU, SERGI.** "Una nueva problemática: la renovación de líneas de alta velocidad". Barcelona: UPC. Enginyeria de Camins, Canals i Ports. 2004.
- [34] **BAQUER SIPIERA, LUIS.** "Ferrocarril: sistemas de control en la alta velocidad". Zaragoza: EUITIZ. Electrónica Industrial. 2010.
- [35] **BLANCH PUJOL, CARLES.** "Estudi de transport de mercaderies amb tren en el Port de Barcelona" Barcelona: UPC. Diplomatura de Navegació Marítima. 2009.
- [36] **MOYÀ I BARBERÀ, EDUARD.** "Anàlisi dels ports secs i la seva contribució a la intermodalitat". Barcelona: UPC. Diplomatura en Navegació Marítima. 2011.

- [37] **MORANCHO PALAU, JOAN.** "Estudi sobre el transport de mercaderies per ferrocarril a Espanya. Situació actual (2009) i Perspectives a mig termini (2015)". Terrassa: UPC. Enginyeria Industrial. 2010.
- [38] **MARTÍNEZ SÁNCHEZ, JOSÉ ANTONIO.** "Anàlisi de la xarxa ferroviària de la RMB". Barcelona: UPC. Enginyeria de Camins, Canals i Ports. 2006.

Pàgines web consultades

- [39] **Línia d'alta velocitat mixta Barcelona - frontera.** Web consultada el desembre del 2011. <[http://www.ferropedia.es/wiki/LAV_mixta_Barcelona - Figueres](http://www.ferropedia.es/wiki/LAV_mixta_Barcelona_-_Figueres)>
- [40] **Eurostat.** Web consultada el març del 2012.
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/transport/data/main_tables>
- [41] **Mapa de l'alta velocitat a Alemanya.** Web consultada l'abril del 2012.
<<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ICEtracks.png>>
- [42] **Mapa de l'alta velocitat a Itàlia.** Web consultada el febrer del 2012.
<<http://www.rfi.it/cms/v/index.jsp?vgnextoid=09dcff14c347b110VgnVCM100003f16f90aRCRD>>
- [43] **International Union of Railways.** Web consultada l'abril del 2012.
<<http://www.uic.org/>>
- [44] **Mapa dels diferent amples de via europeus.** Web consultada el febrer del 2012. <<http://www.bueker.net/>>
- [45] **Mapa de les línies franceses d'alta velocitat.** Web consultada el febrer del 2012. <[Http://www.lecartographe.fr](http://www.lecartographe.fr)>
- [46] **Mapa de l'electrificació de la xarxa ferroviària europea.** Web consultada el març del 2012. <http://en.wikipedia.org/wiki/Railway_electrification_system>
- [47] **Esquema dels circuits de via.** Web consultada l'abril del 2012.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Circuito_de_v%C3%ADas>
- [48] **Article sobre l'ERTMS.** Web consultada l'abril del 2012.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Control_Ferrovioario_Europeo>
- [49] **Carregador a Coeburn, EUA.** Web consultada l'abril del 2012.
<<http://www.main.nc.us/ashe/Rstanleyweb/coeburn.html>>
- [50] **Sistema de descàrrega basculant.** Web consultada l'abril del 2012.
<<http://www.fam.de>>

-
- [51] **Terminal intermodal.** Web consultada el gener del 2012.
<http://www.intermodal-terminals.eu/content/e15/index_eng.html>
 - [52] **TGV La Poste.** Web consultada l'abril del 2012.
<<http://www.railpictures.net/photo/322677/>>
 - [53] **Xarxa Eurocarex.** Web consultada l'abril del 2012.
<<http://www.eurocarex.com/>>
 - [54] **Article sobre el Barceyon Express.** Web consultada el desembre del 2011.
<http://www.ferropedia.es/wiki/Barcelyon_Express>
 - [55] **Locomotora Vossloh.** Web consultada l'abril del 2012.
<http://www.ferropedia.es/wiki/Vossloh_Locomotives>
 - [56] **Esquemes elèctrics de tracció.** Web consultada el febrer del 2012.
<[http://gitel.unizar.es/contenidos/cursos/FTE/Web_Ferrocarriles/LOCOMOTO_RAS\(Parte_electrica\).html#Función_potencia](http://gitel.unizar.es/contenidos/cursos/FTE/Web_Ferrocarriles/LOCOMOTO_RAS(Parte_electrica).html#Función_potencia)>
 - [57] **Esquema d'un bogi.** Web consultada el febrer del 2012.
<[http://gitel.unizar.es/contenidos/cursos/FTE/Web_Ferrocarriles/LOCOMOTO_RAS\(Parte_mecanica\).html](http://gitel.unizar.es/contenidos/cursos/FTE/Web_Ferrocarriles/LOCOMOTO_RAS(Parte_mecanica).html)>
 - [58] **Parts d'un pantògraf.** Web consultada l'abril del 2012.
<<http://de.wikipedia.org/wiki/Stromabnehmer#Scheren-Stromabnehmer>>
 - [59] **Sistemes d'acoblament.** Web consultada el març del 2012.
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Coupling_\(railway\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Coupling_(railway))>
 - [60] **Classificació UIC del rodolament.** Web consultada el desembre del 2011.
<http://ferrocarriles.wikia.com/wiki/Clasificaci%C3%B3n_UIC>
 - [61] **Tipus de bogis de mercaderies.** Web consultada el desembre del 2011.
<http://apocopa.free.fr/bogies_marchandises.htm>
 - [62] **Característiques de la LAV Madrid - Barcelona.** Web consultada el gener del 2012. <http://www.ferropedia.es/wiki/LAV_Madrid_-_Zaragoza_-_Barcelona>
 - [63] **Notícia sobre la Terminal Marítima de Zaragoza.** Web consultada el maig del 2012. <<http://www.vialibre-ffe.com/noticias.asp?cs=infr¬=5714>>
 - [64] **Notícia sobre la línia de Reus-Roda.** Web consultada el maig del 2012.
<<http://www.vialibre-ffe.com/noticias.asp?not=6267&cs=infr>>
 - [65] **Característiques tècniques dels vagons Facs i Laes.** Web consultada el maig del 2012. <<http://www.stinnes-freight-logistics.de>>

- [66] **Característiques tècniques del vagó Sgns.** Web consultada el maig del 2012.
<http://www.dybas.de/dybas/gw/gw_s_7/g705_2.html>
- [67] **Mapa de la futura connexió entre la línia d'alta velocitat i el corredor mediterrani.** Web consultada el març del 2012.
<http://www.ferropedia.es/mediawiki/images/3/34/Fom-Ineco_CM2011_hoja4.jpg>
- [68] **Consulta d'horaris comercials de Renfe.** Web consultada el març del 2012.
<<http://www.renfe.com/viajeros/index.html>>

Diccionaris i glossaris

- [69] *Illustrated Glossary for Transport Statistics.* 4a edició. Eurostat, 2009.
- [70] *El lenguaje del transporte intermodal: vocabulario ilustrado.* Ministerio de Fomento.
<http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/TRANSPORTE_POR_CARRETERA/TRANSPORTE_INTERMODAL/DOCUMENTOS/01_lenguaje_transporte_intermodal-pdf.htm>
- [71] *PEIT, Glosario.* Ministerio de Fomento, 2005.
<http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ESPECIALES/PEIT/>

APÈNDIX

Es mostra un recull de les principals entitats, operadors i administradors ferroviaris europeus, com a mostra del gran teixit organitzatiu que compon la institució ferroviària. Qualsevol intent d'aplicació de les tesis d'aquest projecte hauria d'acompanyar-se inevitablement del suport d'aquests organismes, i és per això que resulta convenient enumerar-los i descriure'ls breument.

- **Organismes ferroviaris**



Agència ferroviària europea

Organisme especialitzat depenent de la Unió Europea dedicat a reforçar la seguretat, interoperabilitat i unificació del sistema ferroviari europeu. S'encarrega la redacció de recomanacions i propostes de la Comissió així com de la creació de les especificacions tècniques d'interoperabilitat (ETI).



UIC

Union Internationale des Chemins de Fer

Associació mundial per la cooperació dels agents ferroviaris internacionals, dedicada a l'estandarització dels sistemes de construcció i explotació. Actualment vetlla per la liberalització i globalització del sector. Té la seu a París.

- **Administracions i operadores ferroviàries nacionals**



ADIF

Administrador de infraestructuras ferroviarias

Entitat pública estatal depenent del Ministeri de Foment d'Espanya heretada de la GIF propietària de la majoria de línies de ferrocarril de via ampla i alta velocitat d'Espanya. Té com a objectiu la construcció de línies de ferrocarril i la gestió de la seva explotació.



RENFE

Red nacional de Ferrocarriles Españoles

Entitat pública estatal depenent del Ministeri de Foment d'Espanya i principal operadora de trens de viatgers i mercaderies de l'Estat Espanyol.

**SNCF***Société Nationale des Chemins de Fer Français*

Empresa estatal francesa que exerceix la doble activitat d'operador ferroviari i de gestió i manteniment de la xarxa de ferrocarril francesa .

**SNCB/NMBS***Société Nationale des Chemins de fer Belges; Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen*

Empresa ferroviària nacional belga dividida en dues parts: Infrabel per a la infraestructura, i SNCB per a l'exploració de passatgers i mercaderies.

**DB***Deutsche Bahn AG*

Companyia ferroviària de la República Federal d'Alemanya, dividida en tres grups operatius independents: mobilitat (transport de viatgers), xarxa (infraestructura) i logística (transports de mercaderies).

**SBB CFF FFS***SBB, Schweizerische Bundesbahnen; CFF, Chemins de fer fédéraux suisses; FFS, Ferrovie federali svizzere*

Principal empresa ferroviària Suïssa, constituïda com una societat anònima amb capital de l'estat. La formen tres divisions: passatgers, cargo i infraestructura.

**FS***FerroviedelloStato*

Companyia ferroviària italiana integrada per diferents societats mitjançant la participació integral de capital de l'estat.

**RFI***Rete Ferroviaria Italiana*

Empresa encarregada del gestió i manteniment de la infraestructura ferroviària italiana, constitueix el *Gruppo Ferrovie dello Stato*.

**Trenitalia**

Principal operador ferroviari a Itàlia, propietat de FS.

**FGC***Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya*

Empresa pública de la Generalitat de Catalunya que gestiona diversos serveis de transport públic, principalment ferrocarril. Està estructurada en dues unitats de negoci: Tren (línies de ferrocarril) i Turisme i Muntanya (cremalleres, funiculars i estacions d'esquí). FGC Cargo n'és una filial dedicada a diversos serveis de mercaderies.

